THE TRAVELER'S GUIDE TO SPACE

For One-Way Settlers and Round-Trip Tourists

[美] 尼尔·F. 科明斯（Neil F. Comins）/ 著　宋阳 / 译

地球人的星际穿越指导书

太空旅行指南

中信出版集团

版权信息

书名:太空旅行指南

作者:[美]尼尔·F.科明斯

译者:宋阳

ISBN:9787508699158

中信出版集团制作发行

前言

早在几千年前，为权贵们组织旅行的业务就已在世界各地开展，包括埃及、希腊和中国。随着15世纪“中产阶级”的形成和印刷机的出现，人们制订和实施旅行计划的能力显著增强，越来越多的人加入了旅行者大军。时至今日，每年有超过10亿人外出旅游度假。

人类首位自费太空游客是美国企业家丹尼斯·提托[注]。2001年，他到国际空间站（International Space Station）度过了为期8天的假期。截至2016年6月，已有7名自费游客进入太空，其中包括已经进入太空两次的美国亿万富翁查尔斯·西蒙尼[注]。这些人的目的地都是环绕地球运行的国际空间站。

数十年来，一些国家以及欧洲航天局（European Space Agency）等国际联盟一直在参与太空探索技术的开发和应用。现在，私人企业也在积极开发太空旅行硬件。那些具有远见卓识的企业家渴望参与殖民月球和火星，进军即将蓬勃发展的太空旅游业。

一个人进入太空之后，生活的方方面面都会发生改变，从移动和饮食这样的日常活动，到人体如何运行，再到性行为方式，都会不一样。我们已经向月球、火星和它的两颗卫星、小行星以及彗星发射了探测卫星，它们拍摄的图像显示，每颗星球都有自己独一无二的特征，甚至有很多特征，我们在地球上闻所未闻。因此，人们在这些星球上的遭遇将不同于地球上的经历。《太空旅行指南》就是想让对太空旅行感兴趣的人更多地了解我们生存的这片宇宙，了解太空旅行者将要面临的机遇和挑战。

本书基本不涉及数学，只是偶尔用到“10的n次方”和牛顿第二运

动定律公式F＝ma（F是力，m是质量，a是加速度）。我也会解释为了理解太空“有什么与为什么”所必需的科学知识。本书收录的各种太空挑战均来自我为写前一本书——《太空旅行的危害》（The Hazards of Space Travel）——所做的调查研究。我要感谢我的经纪人路易斯•凯茨（Louise Ketz）处理与本书相关的商务事宜，感谢我的编辑帕特里克•菲茨杰拉德（Patrick Fitzgerald）为本书润色，感谢瑞安•格罗恩迪克（Ryan Groendyk）帮助组织本书使用的数据和其他素材，感谢安德鲁•韦斯特（Andrew West）教授严谨的编辑，感谢我的教科书出版商弗里曼出版公司（W. H. Freeman & Co.）允许我使用那些教科书中的图片。我还要特别感谢我的妻子苏（Sue），感谢她在我写书期间始终保持耐心，也感谢她以一名英语教授的眼光仔细审阅了我的手稿。

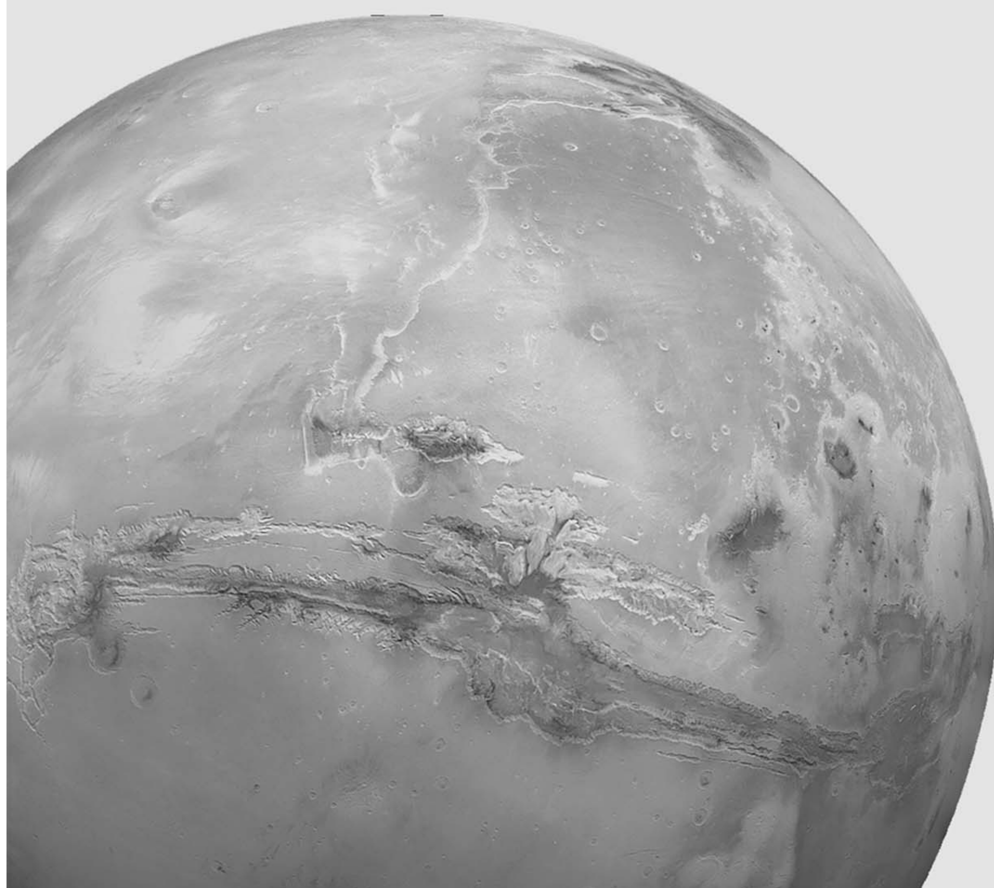
---

1. 丹尼斯·提托（Dennis Tito，1940— ），美国工程师、亿万富翁，早年曾在美国国家航空航天局喷气推进实验室从事科学研究，后创立一家投资管理公司。他将航天器路径的计算方法应用于市场风险分析，开发出这家公司赖以生存的市场风险定量分析法。他虽已转行，但仍十分关心太空事业。据说，他为2001年的太空旅行花费了2 000万美元。（全书脚注均为译者注，书后注为作者注）

2. 查尔斯·西蒙尼（Charles Simonyi，1948— ），匈牙利裔美国人，资深软件工程师、企业家，曾任微软公司应用软件业务负责人，目前经营自己开办的公司。他在2007年4月和2009年3月两次作为太空游客进入太空。



第一部分
准备工作



第1章

科学和太阳系面面观



1961年4月12日，苏联宇航员尤里·加加林（Yuri Gagarin）从今天的哈萨克斯坦境内的拜科努尔航天发射场（Baikonur Cosmodrome）起飞，开始了人类的首次太空之旅。他乘坐的飞船在“东方”（Vostok-K）火箭的推动下向东飞行，飞行高度大约325千米。飞船[注]差不多绕行地球一圈后，到达非洲上空，此时制动火箭点火，返回舱开始减速并降落。在距地面7千米的时候，舱门打开，他被弹射出去，打开降落伞，最后降落在偏离预计着陆点大约2 800[注]千米的地方。就在那里，他打了一个电话，叫人来接他。[注]

从那以后，人类的太空飞行断断续续地发展起来。20世纪60年代和70年代，人们见证了苏联与美国之间的太空竞赛，而人类登月使这场竞赛进入了白热化阶段。苏联的“礼炮”（Salyut）系列空间站、苏俄的“和平号”（Mir）空间站、美国的“天空实验室”（Skylab）空间站和中国

的“天宫一号”等环地空间站你方唱罢我登场。现如今，国际空间站和中国的“天宫二号”各自雄踞一方。国际空间站不仅使各个国家、公司和机构有机会向太空输送宇航员和科学家，同时也为实力雄厚的太空旅行发烧友提供了落脚点。截至目前，进入太空的人数在500~1 000之间（这个数字无法更精确，因为有些秘密的军事任务无从统计）。大量商业太空项目正在建设之中，这预示着在不远的将来会有更多人踏上太空之旅。

从历史上看，业余太空旅行的价格一直以千万美元为单位，但从事太空旅行各类分支业务的新生代公司有望降低这个价格。目前正在开发的一个短程太空游项目，一个座位只要几十万美元。这意味着将有几百万人有机会进入太空。

想从太空旅行中获得极致体验，你必须了解一路上可能遇到的科学和医学问题。《太空旅行指南》会阐述各种太空经历，所以会包含不少科学知识。本书的目标之一就是让这些知识能够为你所用。科学家给日常用语赋予了很多技术含义，这给业余人士阅读科学读物造成很大的困难。因此，本书会在必要时解释这些词语的科学含义。

让我们看看对科学词语进行不同解读的两个例子。如你所知，微小的电子围绕着体积较大的原子核运动。读到这里，大多数人会把电子和原子核想象成微缩版的行星和太阳。20世纪早期甚至出现过以原子生物为主人公的小说，比如1922年出版的《金色原子中的女孩》（*Girl in the Golden Atom*），作者是雷·卡明斯[注]。然而事实上，原子内部的各种粒子——质子、中子和电子——根本不是实心粒子，而是同时具有波和粒子的双重属性。撇开其他不谈，这首先意味着，我们不能把电子想象成围绕恒星运动的行星。波的性质使电子在运动时向四周发散，这不同于点状物体的运动方式。虽然电子运动的“视觉化”因此变得复杂，但波粒二象性的设定反而方便科学家深入地解释电子的行为。

本章的第一句话也可以很好地证明理解科学词语的重要性。本章开头我写了“……开始了人类的首次太空之旅”，这里我没有给出“太空”的

定义。我们大多数人从直觉上会把“太空”理解成地球大气层以外的区域。但是大气层与游泳池不同，它没有明确的边界。如果你从高空降落进入大气层，你会发现空气变得越来越稠密，但看不出哪里算是边界。相比之下，你往游泳池里跳的时候，入水的那一刻，水面的边界非常明确。大气层没有一个固定不变的顶盖，所以光是大气层还不够拿来给“太空”下定义，我们需要换一个角度。

地球大气层之所以没有一个明确的边界，是由于气体的性质。液体是原子和分子的弱束缚组合，而气体的原子和分子是无法被束缚在一起的。除非以外力强行拉近，否则这些粒子会彼此渐行渐远。例如，气球把气体原子和分子聚在一起，而一旦被刺破，里面的粒子就会四散开来。

让我们做个粗略的比喻：就像气球把气体聚集起来那样，地球重力把空气聚拢在地球四周，阻止它们逃逸到太空中去。即便如此，大气层最外层的气体受太阳辐射，还是会挣脱地球重力，向星际空间逃逸。之所以如此，是因为粒子受热越多，其运动速度就会越快，待速度足够快时便会摆脱地球重力。因此，地球大气层不断有气体逃逸到月球，甚至更远的地方，不再回来。让问题变得更复杂的是，整个大气层在受热时会向外膨胀，遇冷时会向内收缩，所以大气层的高度会随天气状况、太阳辐射和昼夜更替而不停地变化。

多数太空爱好者把“太空”定义为卡门线（Karman line）以外的空间。这个定义源自匈牙利裔美国科学家西奥多·冯·卡门（Theodore von Karman，1881—1963）的一个推论。卡门曾提出一个问题：为了使飞机的机翼产生足够的升力以保持飞行高度，我们需要多大的空气密度？毕竟，飞得越高，空气密度就越小，空气所能产生的升力也越小（不论飞行速度）。他发现，在距离地球表面100千米左右的高度，空气已经变得非常稀薄，以至于飞机必须飞得足够快，进入绕地轨道，才能维持飞行高度。换句话说，在绕地轨道的高度上，飞机的速度会非常快，即使关闭发动机依然可以环绕地球飞行。这个高度就是现在所说的卡门

线。

在无动力飞行的时候，航天器需要依靠自身的运行速度来避免坠向地球。例如，国际空间站不断被地球重力向下拉，但由于它在平行于地表的方向上具有足够快的速度，所以不会一落到底。出于各种政治和技术原因，各个机构和国家对“太空”起始高度的界定并不一致，但就本书而言，太空始于卡门线。



在确定了太空的起始高度之后，让我们再来想想太空旅行者在不远的将来能够访问的目的地。思考这个问题时，我们需要一点宇宙视角。我们生活在太阳系，包括太阳和围绕太阳转动的所有天体。按照国际天文学联合会（International Astronomical Union）2006年的定义，这些天体分为四类：行星、卫星、矮行星和太阳系小天体。

国际天文学联合会的天文学家认为，太阳系行星[注]必须满足两个条件。第一，太阳系行星必须具有足够大的质量，从而让自己基本上保持球形。事实上，地球表面有山脉和峡谷，并不是一个完美光滑的圆球。此外，自转也使地球的赤道直径大于两极之间的直线距离，超出大约[注]42.8千米。这些微小的偏离并不影响我们对行星的界定。第二，太阳系行星的质量必须大到足以产生巨大的引力，将临近的太空碎片拉过来或者远远地抛出去[注]。换句话说，太阳系行星必须能够清除其轨道上的太空碎片，但行星的卫星，也就是受引力束缚围绕行星运行的小天体不在此列。

我们的太阳系目前拥有八颗行星，从太阳开始向外依次是水星（Mercury）、金星（Venus）、地球（Earth）、火星（Mars）、木星（Jupiter）、土星（Saturn）、天王星（Uranus）和海王星（Neptune）。水星和金星没有卫星，而其他六颗行星加起来拥有173颗卫星。2015年，天文学家发现海王星轨道以外很远处，有些天体的运动路径受到某个未知天体的引力影响。经过计算，这是一个行星大小的天

体，所以如果它被学者发现，我们将把它列为太阳系的第九颗行星。

所有太阳系行星基本上都在被称作黄道面的地球公转轨道面上围绕太阳运动，运动方向也与地球一致。[注]

在新的行星标准下，冥王星（Pluto）丧失了行星地位，因为它的质量远远小于其他太阳系行星。质量确实很关键。任何物体的质量都是其所含物质多少的量度，或者换个说法，是物体所含各种元素的粒子数量的度量。

冥王星的体积和质量足以让它保持球形，但它的质量不足以让它清除临近的小块太空碎片，所以最终被划为矮行星。太阳系有5个天体被归为矮行星：冥王星、谷神星（Ceres）、妊神星（Haumea）、鸟神星[注]（Makemake）和阋神星（Eris）。冥王星、妊神星、鸟神星和阋神星已知拥有卫星。天文学家正在评估太阳系其他一些天体，看它们是否符合矮行星的标准。

太阳系小天体是围绕太阳运行的最后一类天体，基本上是以岩石和冰或者岩石和金属为主要成分的太空碎片。与行星和矮行星不同，这些成分是通过化学键而非天体自身的万有引力结合在一起的。

矮行星和太阳系小天体是过去被归为小行星、流星体和彗星的天体集合。小行星和流星体包括太阳系里所有主要成分为岩石和金属的太空碎片，体积较大的称为小行星，但两者之间并没有明确的界限。根据常见的定义，流星体是直径小于1米的天体。已知几个小行星拥有卫星，但有点复杂的是，小行星的卫星也是小行星。对于围绕彼此转动的两颗小行星，体积较小的被视为对方的卫星。

小行星

每颗小行星的外形都是独特的——球形、花生形、橡皮鸭子形等等。小行星在太阳系生命早期无序形成，大多位于火星和木星之间，这

个区域被称为小行星带（Asteroid Belt）。大多数小行星沿着近圆轨道运行，而其余小行星的运行轨道更接近椭圆形，所以后者会与一个或多个行星的运行轨道相交。现在，我们几乎每天都会发现新的小行星，有编号的小行星已超过45万颗，还有已经观测到的几十万颗在等待最终确认。不管好莱坞的大制作电影是怎么演的，在实际飞往某颗小行星的途中，你们的舰长用不着忙着躲避不计其数的小行星，因为它们彼此之间通常相距160万千米。

近地天体[注]（Near Earth Object）与太阳的距离基本等于地球与太阳的距离。已知的近地天体有12 000多个。其中四类近地小行星是我们未来太空旅行的候选目的地：阿莫尔型（Amor）、阿波罗型（Apollo）、阿顿型（Aten）和阿蒂拉型（Atira）小行星。阿莫尔型小行星的轨道位于火星和地球之间，比地球离太阳更远，但它们的确有时会从地球附近经过。2001年，美国国家航空航天局（NASA）的一颗卫星登陆了阿莫尔型小行星爱神星（Eros，见图1.1a）。与之相反，阿蒂拉型小行星（即地内近地小行星）位于地球轨道[注]以内，从来都不会跑到地球轨道之外。



图1.1a

阿莫尔型小行星爱神星，1898年发现，运行到近地点时距离地球2 670万千米，星体最长部分的长度大约34千米。
图片来源：近地小行星探测项目（NEAR Project）、荷兰国家航空航天实验室（NLR）、约翰霍普金斯大学应用物理实验室（JHUAPL）、戈达德太空飞行中心科学可视化工作室（Goddard SVS）、美国国家航空航天局

阿波罗型和阿顿型小行星都会与地球轨道相交。它们的轨道呈很扁的椭圆形，所以有时候比地球更靠近太阳，有时候比地球更远离太阳。这两类小行星里，有的会极其接近地球，有的甚至还会撞击地球。例如，此类撞击曾在6 500万年前造成了白垩纪–第三纪的生物灭绝，还可能在2.5亿年前造成了更可怕的二叠纪–三叠纪大灭绝（也称“大灭亡”）。

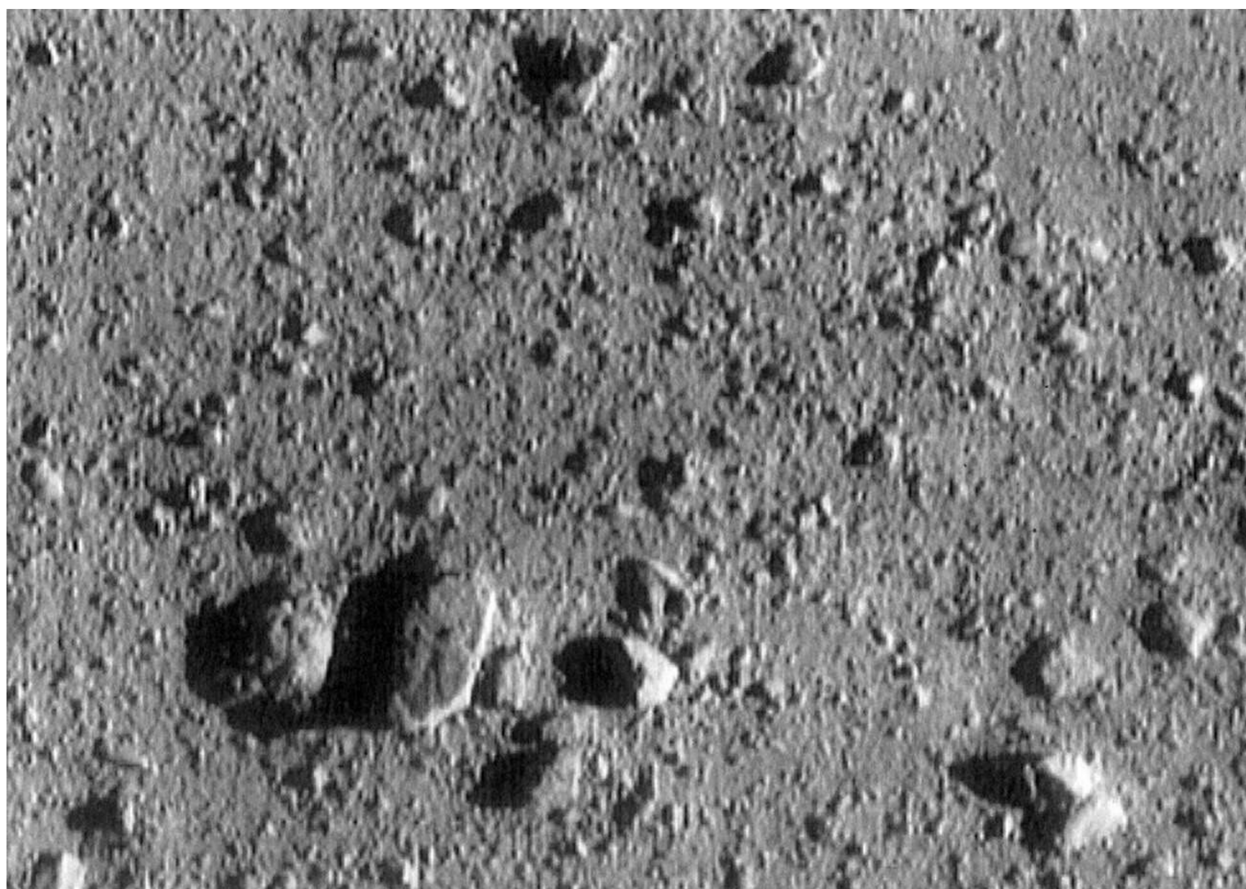


图1.1b

“舒梅克尔号”（NEAR Shoemaker）登陆探测器拍摄的爱神星表面特写。
图片来源：近地小行星探测项目、荷兰国家航空航天实验室、约翰霍普金斯大学应用物理实验室、戈达德太空飞行中心科学可视化工作室、美国国家航空航天局

阿波罗型和阿顿型小行星的区别在于，阿波罗型小行星围绕太阳运行一周所用的时间大于一个地球年，而阿顿型小行星的公转时间小于一个地球年。美国国家航空航天局拥有一份档案，其中包括人类在不远的将来可以访问的1 300多个近地天体，而这样的天体正在迅速增多。图1.2总结了四类近地小行星的特征。

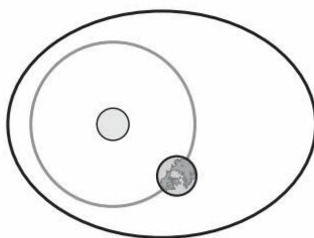
科学与科幻作品

小行星是很多科幻故事的主角，最早可以追溯到19世纪儒勒·

凡尔纳（Jules Verne）的作品。几部《星球大战》系列电影里都有小行星的身影。在《星球大战5：帝国反击战》（The Empire Strikes Back）中，汉·索罗（Han Solo）就把他的“千年隼号”（Millennium Falcon）藏在了一颗小行星里面。这颗小行星是一个密集行星带的一部分，符合人们对太阳系小行星带的一贯印象。问题是，如果小行星像这些电影展现的那样密集，它们相互之间的万有引力早就使它们互相撞击，最后聚合成一个巨大的天体了。这种情况实际上并没有发生，因为小行星带中的小行星，还有近地天体，它们彼此之间至少相隔160万千米（地球与月球之间距离的4倍），甚至更远。到底有多远，就看你相信谁的计算结果咯。小行星由于质量小、运动速度快，在这样遥远的距离下不可能聚合在一起。

阿莫尔型小行星

运行轨道位于地球轨道之外、火星轨道以内的近地小行星，以阿莫尔小行星（编号 1221）命名。



$a > 1.0$ AU

1.017 AU $< q <$ 1.3AU

阿波罗型小行星

运行轨道与地球轨道相交、半长轴大于 1 个天文单位的近地小行星，以阿波罗小行星（编号 1862）命名。

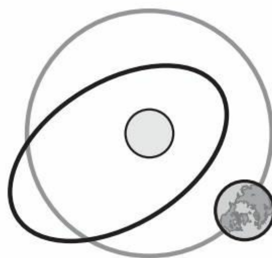


$a > 1.0$ AU

$q <$ 1.017 AU

阿顿型小行星

运行轨道与地球轨道相交、半长轴小于 1 个天文单位的近地小行星，以阿顿小行星（编号 2062）命名。

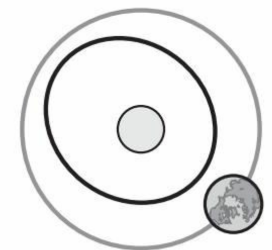


$a < 1.0$ AU

$Q >$ 0.983 AU

阿蒂拉型小行星

运行轨道完全位于地球轨道之内的近地小行星，以阿蒂拉小行星（编号 16393）命名。



$a < 1.0$ AU

$Q <$ 0.983 AU

（q = 近日点距离，Q = 远日点距离，a = 半长轴）

图1.2

不同类型的近地小行星的特征。近日点是天体距离太阳最近的点，远日点是天体距离太阳最远的点，半长轴指近日点与远日点距离的一半。
图片来源：美国国家航空航天局

与未来太空旅行相关的最后一类小行星是被锁定在地球轨道上的小行星。它们的名字取自特洛伊战争中的英雄，故而被称为特洛伊小行星。火星、木星、天王星和海王星都有自己的特洛伊小行星，其他行星可能也有。

这看似违背了“行星必须能够清除其轨道上的太空碎片”这一标准，但我们有充分的理由不将这个标准应用在特洛伊小行星身上。每颗行星的公转轨道上都有这样两个点：行星引力和太阳引力的合力将小行星牢牢固定在那里。这两个点被称为L4和L5拉格朗日点，分别位于行星前方60°和后方60°。（你从编号可以推断出来，还有其他拉格朗日点，即L1、L2和L3，位于这3个点上的任意太空碎片都会被行星和太阳的引力随意地拖来拽去。）位于地球L4和L5拉格朗日点的小行星永远不会接近地球，所以地球引力无法将它们拉过来或者远远地抛出去。目前，我们知道地球有一颗特洛伊小行星，天文学家还在继续寻找其他的。

小行星的组成各不相同，值得我们去了解。较小的小行星本质上就是太空巨石，体积较大的小行星则是无数小天体经过多次撞击而成的。撞击使体积不断变大的小行星受热熔化，进而使内部密度较大的金属（如铁和镍）沉淀到内核，较轻的岩石浮在内核上面，形成了小行星的外壳。之后，小行星冷却，凝固，把这种金属在内、岩石在外的结构最终固定下来。地球也有着类似的结构：里面是金属内核，外面主要被岩石包围。

故事到这儿还没结束。一些大型小行星在固化以后又遭到了强烈的撞击，而撞击的结果取决于小行星的体积和相对速度。有些被完全摧毁，残留的金属和岩石碎片成为更小的小行星和流星体飘浮在轨道上。还有些被撞击时将自身的一部分喷射出去，但基本保持完整。这两种撞击都会产生大量较小的小行星和流星体。太空旅行者对此要特别留意，因为大型小行星的残留物（诸如金属内核）在地球上既有收藏价值，又有商业价值。

所有矮行星、太阳系小天体和卫星的表面仍在不断演化。固化之后，它们坚硬的表面不断受到无数流星体、太阳喷射的高速粒子（太阳风）以及太阳系外粒子（宇宙射线）的撞击和粉碎。因此，它们的表面大部分呈粉状，被称作表土（见图1.3），上面布满了陨坑（见图1.1a）、岩石和巨砾。



图1.3

“阿波罗11号”宇航员在月球表土上留下的脚印。
图片来源：美国国家航空航天局

彗星

围绕太阳运动的太空碎片还包括彗星，有些彗星也适合作为太空旅行的目的地。彗星主要由岩石和冰组成。在天文学中要注意一点：“冰”包括结冰的水、二氧化碳、一氧化碳、甲烷和氨。

彗星的演化过程既有趣又与太空旅行相关。从太阳诞生的时候起，彗星便开始形成。在距离年轻的太阳很远的地方，寒冷的尘埃和气体粒子结合在一起，形成了很多体积越来越大的冰岩混合物，被称为彗核。

不同于我们已经讨论过的其他天体，大多数彗星的运行轨道并不贴

近黄道面，而是位于远离太阳系行星的两个区域中。柯伊伯带（Kuiper belt）位于海王星轨道以外，由彗星和其他太空碎片组成，形状酷似一个甜甜圈，黄道面从中间把它片开。它的名字取自首次发现其存在的荷兰裔美国天文学家杰拉德·柯伊伯（Gerard Kuiper，1905—1973）。冥王星、妊神星和鸟神星都在柯伊伯带以内运动。这里的物质被认为是太阳系行星形成时残留的碎片。

另一个大型的彗星集群被称作奥尔特星云，它以首次提出其概念的荷兰天文学家简·奥尔特（Jan Oort，1900—1992）的名字命名。奥尔特星云位于柯伊伯带之外，是一个呈球形分布的彗星群。这些彗星被认为是在行星（尤其是木星）引力的作用下从内太阳系[注]喷射出来的太空碎片。图1.4给出了柯伊伯带和奥尔特星云的位置。

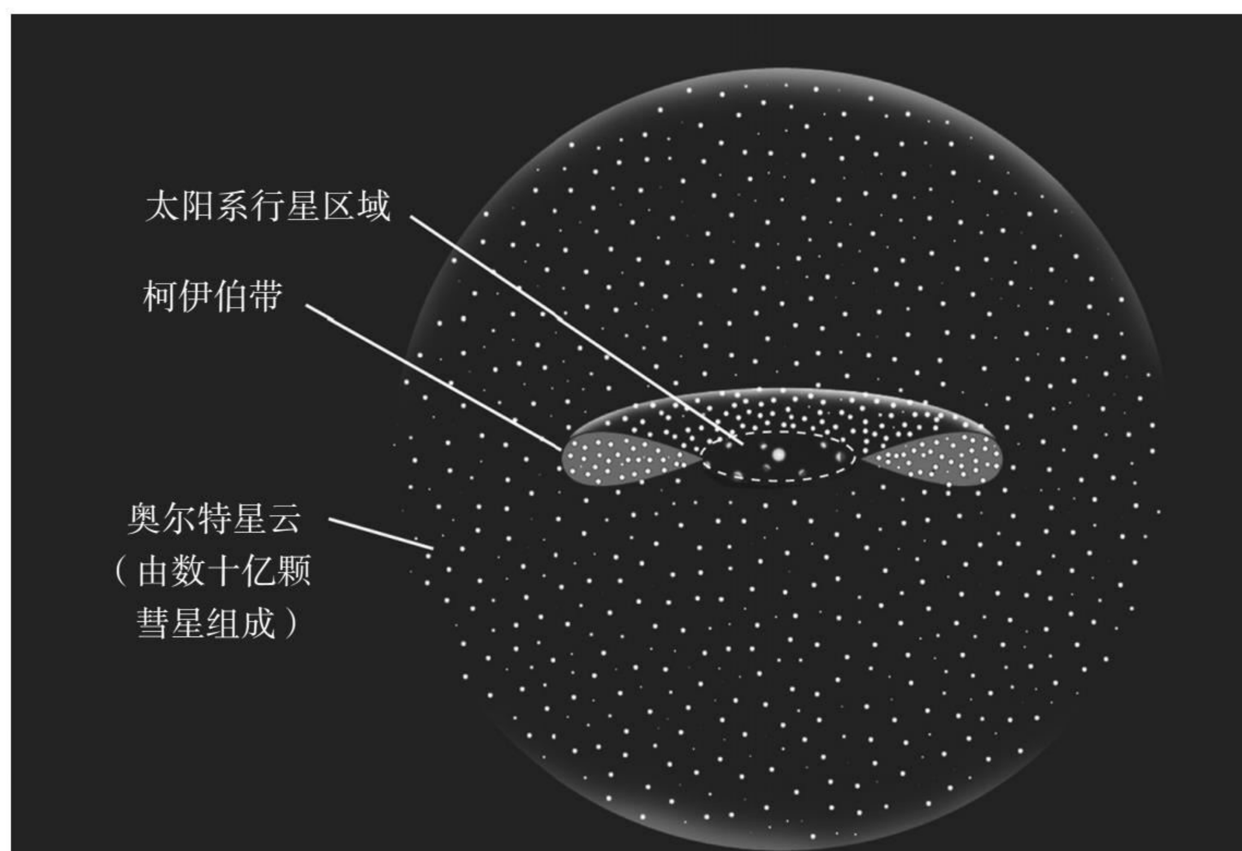


图1.4

柯伊伯带和奥尔特星云与太阳系行星的相对位置。
图片来源：弗里曼出版公司

在太阳系46亿年的生命里，大多数彗核都留在海王星轨道以外。然而，这些脏兮兮的太空冰山有时也会被推搡或拖拽到内太阳系里面。当彗星与太阳的距离缩短到差不多等于海王星轨道半径的时候，太阳源源不断的热量和粒子把彗核的部分冰体汽化，从而在彗核的周围形成非常稀薄的大气层，即彗发（comas），比地球大气层要稀薄得多。彗核的质量太小，所以彗发散入太空中，不再回来。

只有当彗核进入太阳系行星区域里面的时候才会出现彗尾。随着气体逃逸的还有尘埃颗粒和冰体释放出来的小石子。当彗星离太阳足够近时，太阳光和太阳粒子将彗星的部分气体和碎片吹走，从而形成两个彗尾：一个尘埃尾和一个气体尾（图1.5）。气体尾轻飘飘的，被直接吹向背阳的方向。尘埃没那么容易被吹走，所以尘埃尾的指向在气体尾与彗星来的方向之间。



图1.5

彗星在近日点形成的彗尾。背向太阳、成一条直线的是气体尾，弧形的是尘埃尾。图片来源：弗里曼出版公司

彗星的命运各不相同。有些彗星从遥远的星云进入太阳系，直接跌落到太阳上汽化。更多彗星在近日点错过太阳，幸存了下来。这些幸存的彗星又分成两类。长周期彗星经过近日点后折返，奔向太阳系行星以外的空间，至少200年后才会回来。事实上，有些来自奥尔特星云的彗星，它们的运行周期竟然超过3万年！短周期彗星在经过附近的行星时，受行星引力的影响改变了运行轨道，最后留在了太阳系内部。这类彗星每200年或者不到200年就会到达近日点。例如，哈雷彗星（Halley’s comet）沿轨道运行一周的时间是76年，最远不过才到海王星而已。

彗发和彗尾脱离彗星之后永不再回来，所以很显然，彗星每接近太阳一次都会变小一圈。虽然有些彗星的岩层和尘埃碎片能够阻止自身的耗散，但大多数彗星最终都会解体，在曾经的运行轨道上留下一个个岩石碎片。在太空旅行的途中，我们必须避开这些碎片，因为它们可能会撞上航天器。尽管如此，彗星旅行仍然是切实可行的。2014年11月12日，欧洲航天局的“菲莱号”（Philae）登陆器在67P/楚留莫夫–格拉希门克（67P/Churyumov-Gerasimenko）彗星上着陆（见图1.6）。当时，登陆器触地反弹之后，很明显掉进了沟里，得不到足够的阳光给电池充电，无法正常工作。2015年6月，这颗彗星到达近日点，温度回升，登陆器才苏醒过来，然后将这颗彗星的信息发回了地球。

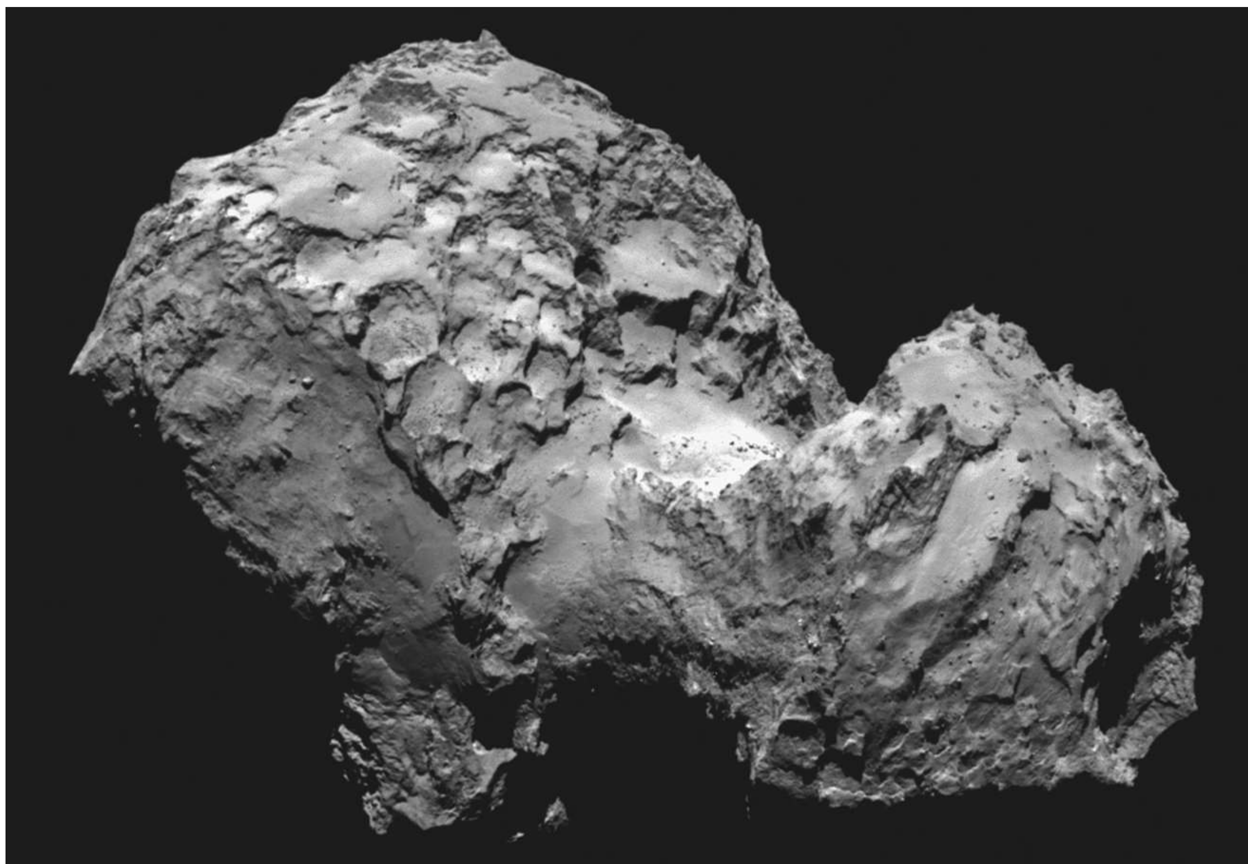


图1.6

由“罗塞塔”探测器（Rosetta）拍摄的67P/楚留莫夫－格拉希门克彗星。最长部分长度为4千米。
欧洲航天局、“罗塞塔”探测器、可见光及红外遥控成像系统团队（OSIRIS Team）、UPD、LAM、爱尔兰航空局（IAA）、瑞士航天局（SSO）、西班牙国家航宇技术研究所（INTA）、马德里理工大学（UPM）、加拿大物理学会大气与空间物理分部（DASP）、国际黑暗天空协会（IDA）

巧合得很，彗星往往看起来就像照片上的污点（胶片或数码相机）注。彗星一般以发现者的名字命名，比如上一段提到的那颗彗星，它的名字便取自两位天文学家。一位是斯威特拉娜·伊万诺娃格·格拉希门克（Svetlana Ivanovna Gerasimenko），1969年，她在哈萨卡（今哈萨克斯坦）东南部的一座天文台拍下了含有这颗彗星的照片。另一位天文学家克里木·伊万诺维奇·楚留莫夫（Klim Ivanovych Churyumov）在这张照片的底片上发现了它。名字中的“67P”表示这是已发现的第67颗短周期彗星。

除了小行星和彗星，还有三颗卫星可以作为太空旅行的目的地：我们的月球[注]以及火星的两颗卫星。我们很快就会谈到。

我们已经对太阳系进行了概览，所以你很容易明白，为什么在未来很长一段时间里，人类的太空旅行将局限在宇宙的这片区域。已知距离太阳系最近的恒星是比邻星（Proxima Centauri），它距离我们4.0×10^{13}千米[注]。它离地球实在太远，常规航天器即便以大约6.4万千米的时速飞行，也要7万多年才能到达。就载人飞行而言，就算是飞出火星轨道，或是飞到地球轨道以内的金星或水星上，目前也还无法实现。要飞到小行星带的小行星或木星上也需要好几年的时间，而且后勤工作会相当复杂。人类可能永远也无法去金星，因为它被一圈富含硫酸的大气层包围，而且它的大气层如此之厚，以至于其表面大气压相当于地球水下915米的压力，足以把人压扁。要飞到水星这颗最靠近太阳的行星，我们需要掌握很多新技术，让航天器在接近太阳时不会过热，也不会被辐射破坏，而我们在短期内做不到。

综上所述，在不远的将来，我们的太空旅行可以有下列选择：

- 亚轨道飞行至太空，不进入绕地轨道，直接返回地球，整个飞行轨迹呈一个弧形。
- 绕地轨道飞行，到达国际空间站或在建的商业空间站。
- 月球。
- 经过地球的小行星或彗星。
- 地球的特洛伊小行星。
- 火星的卫星。
- 火星。

我们会在第2章对上述各种旅行展开说明。

太空旅行所需的时间有长有短，这主要取决于几个因素：去程和返程中地球与目的地之间的相对距离和相对速度；航天器的飞行速度；在目的地停留的时间。既然我们在近未来能完成的太空旅行局限在太阳系内部，那么让我们先来看看附近几个邻居与我们之间的距离吧。地球表面最远两点之间的距离大约是2.0×10^{4}千米。地球与月球的平均距离不到3.9×10^{5}千米。之所以说“平均”，是因为从一个新月到下一个新月的周期中，地月距离会有大约4.2×10^{4}千米的变动。地球与太阳的平均距离大约是150×10^{6}千米[注]。由于地球公转轨道是椭圆形的，所以地日距离在一年里会相差大约4.8×10^{6}千米。

让我们来看看火星的情况。请记住，理论上说，火星旅行的相关结果同样适用于我们短期内能够访问的其他天体。由于地球和火星各自与太阳的距离相差很大，所以它们绕太阳运行一周所需的时间[注]也有很大差别。它们有时候出现在太阳的同一侧，有时候则分居太阳的两侧。地球与火星的最近距离大约是55×10^{6}千米，而最远的距离居然达到400×10^{6}千米。这样的话，飞到火星所需的时间取决于你出发时两者的相对位置，还有你的飞行速度（因为速度决定了你的路径）。从地球飞往火星或从火星返回地球通常需要5~10个月的时间。



要理解太空经历，还有两方面的科学知识至关重要。一是组成物质的粒子的性质。之所以要了解这个，是因为你要打交道的不仅是航天器内部的粒子，还有来自航天器外部、可能击中你的粒子。这些粒子组成的物质与你在地球上见到的可不一样。二是光和相关电磁辐射的性质。之所以要了解这个，是因为身处太空的你会暴露在地球上通常不存在的各种辐射之下。很多辐射可能对你的身体有害，所以了解它们的性质和了解如何保护自己同等重要。让我们先谈谈物质。

我们需要了解原子的本质。原子是一种元素（比如碳、氢）的基本单位，由三种粒子组成，即质子、中子和电子。质子和中子结合成一个

粒子团，即原子核，而质量小得多的电子围绕着原子核运动。请记住，电子不是一个实心粒子，而是以波的形式扩散在原子核周围的物质分布。

原子的质子数决定了它是哪种元素。在宇宙中，所有包含1个质子的原子都是氢原子，所有包含6个质子的原子都是碳原子。到目前为止，氢是宇宙里最常见的元素。原子的中子数决定了它有几种同位素。氢有3种同位素：最常见的一种没有中子[注]，携带1个中子的被称为氘，携带2个中子的被称为氚。这三种同位素都是氢元素。

接下来，让我们来了解原子的电属性。质子和电子带有相反的电荷，这使它们互相吸引，而一对质子会互相排斥。我们人为地规定质子带正电，电子带负电。毫无意外，中子不带电，它的作用是把质子束缚在原子核内。如果没有中子，质子之间的排斥力会使它们无法联结在一起，也就形不成氢以外的其他任何元素。有趣的是，要是没有质子，中子也不会存在。如果我们把一个中子从原子核里拿出去，15分钟后，那个中子就会自动分裂成一个质子和一个电子。

粒子通过自然界已知的四种基本力发生相互作用：电磁力、强相互作用力、弱相互作用力和万有引力。强相互作用力和弱相互作用力只在原子核内部起作用。强相互作用力将质子和中子束缚在一起，弱相互作用力用来解释某些原子核的不稳定状态。弱相互作用力会引起某些原子核自发地解体，我们把这个过程称为放射性。强相互作用力和弱相互作用力与本书的相关性不高，我就说到这里，但电磁力和万有引力的作用十分关键，所以下面让我们复习这两种基本力。

电磁辐射

可见光是电磁辐射的一种形式。电磁辐射由被称作光子的粒子组成，但光子并不像桌球一样是实心的，而是由一包包的波组成（图

1.7），所以科学家常常把光子称为波包（wave packet）。光子有三个属性与本书的内容相关：

• 光子的运动速度恒定，被称为光速（写作c，大约为3×10^5千米/秒）。

• 每个光子都有固定的波长（如图1.7所示，波长指两个相邻波峰之间的距离）。

• 不同波长的光子携带的能量不同，波长越短，光子的能量越高。

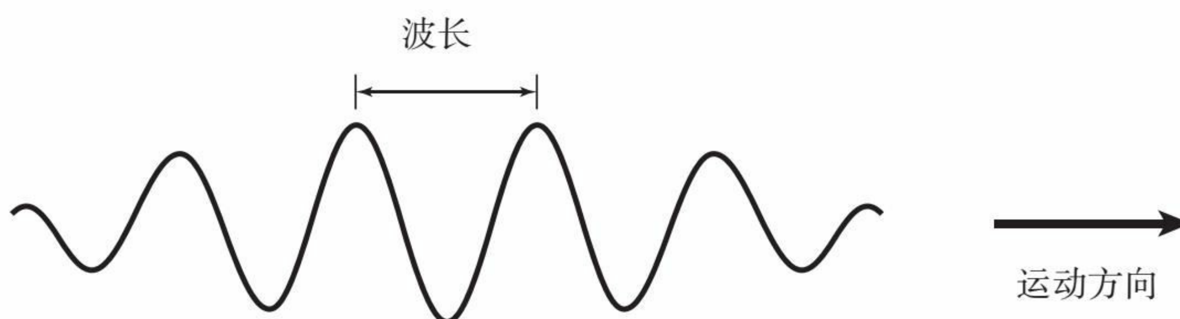


图1.7

光子的示意图，各个波长相等（如上图的双头箭头所示，波长指两个相邻波峰之间的距离）。
图片来源：尼尔·科明斯

颜色只不过是我们的大脑对不同波长的可见光做出的解释。按照波长从大到小的顺序，天文学中使用的颜色依次为红色、橙色、黄色、绿色、蓝色和紫色（我们不使用靛蓝色，牛顿在确定组成白光的颜色时将靛蓝色包括在内，这样就有7种颜色，凑成了带有重要神秘寓意的数字）。那么问题来了：如果红色是波长最长的可见光，紫色是最短的，那么有没有波长长于红色或者短于紫色的光是我们看不见的呢？答案是肯定的。英国天文学家威廉·赫舍尔（William Herschel，1738—1822）在1800年首次发现了波长长于红色的光子，我们现在把它称为红外线。我们的身体已经进化出感知红外线（即热）的能力。

还存在波长更长的光子，即无线电波。苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831—1879）预测了它的存在，德国物理学家海因里希·鲁道夫·赫兹（Heinrich Rudolf Hertz，1857—1894）在实验室中第一次发出了无线电波。按照定义，无线电波是波长最长的电磁波，其波长比波长最大的红外线还要大（我们有时把波长介于红外线和无线电波之间的光子称为微波）。

也有波长短于紫色的光子，即紫外线。1801年，也就是赫舍尔公布他发现红外线的第二年，德国科学家约翰·威廉·里特（Johann Wilhelm Ritter，1776—1810）发现了紫外线的存在。我们的身体也能够感知波长最长的紫外线——长波黑斑效应紫外线（UV–A）。这种光子让我们的身体产生维生素D和黑色素，使我们的皮肤变黑，以抵御它的辐射以及另外两种波长较短的紫外线——中波红斑效应紫外线（UV–B）和短波紫外线（UV–C）。紫外线会破坏不受保护的活细胞，可以导致白内障、雪盲症、皮肤癌、各种皮肤病以及DNA损伤。

波长更短的光子是19世纪80年代被发现的X射线，当时它使早期的照片底片变得模糊。对其最早的研究始于1895年德国物理学家威廉·康拉德·伦琴（Wilhelm Conrad Röntgen，1845—1923）[注]的工作。1900年，法国科学家保罗·维拉尔（Paul Villard，1860—1934）最终发现了波长最短的光子，我们把它称作伽马射线。

我们的身体不会对短波紫外线、X射线和伽马射线做出反应，但是如果剂量足够高，短波紫外线和X射线就会对生物造成伤害，而我们的确可以据此检测到它们的存在。伽马射线对生物造成伤害所需的剂量更低，而如果剂量达到一定水平，伽马射线可以迅速致死。图1.8给出了所有电磁辐射的波长和能量信息。

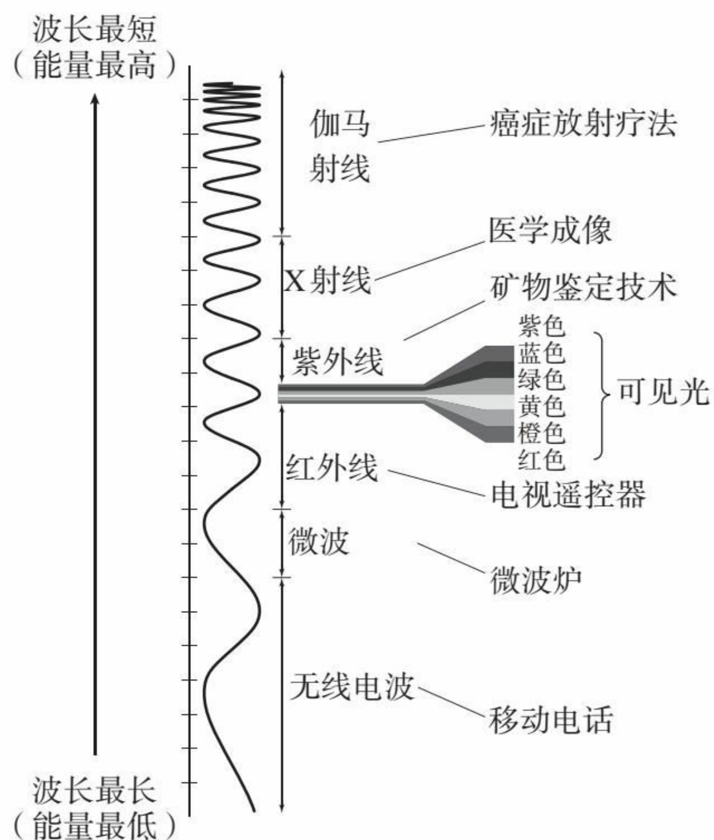


图1.8

各类电磁辐射及其属性。
图片来源：弗里曼出版公司

万有引力

自然界里直接影响太空旅行的另一个基本力是万有引力，常被称作重力。这是唯一普遍存在的吸引力，万事万物因此相互吸引。万有引力的大小仅取决于三个因素：两个物体的质量、形状和相互之间的距离。

当然，重力就是把物体固定在地球上的力。正如前文提到的，地球大气层的运动如此迅速，不会变成固态或液态。尽管如此，地球的重力还是能把大气层的多数气体束缚在它的周围。地球重力也会阻止被风吹起的树叶飘向太空，因为一旦风停下来，重力最终会使树叶落回地面。

此外，有些航天器（如国际空间站）虽然被重力拉向地球，但由于它们环绕地球运行的速度较快，所以不会直接掉落到地球上。我们把这称作“在轨”。

让我们看看火箭发射。发射时，火箭并不是垂直升空，而是以某个角度向上飞行，为的是保持一个与地球表面平行的运动分量，这样才不会在燃料耗尽时直接掉回地球。如果速度足够快，它就会进入轨道。如果速度不足以进入轨道，那么它会在燃料耗尽后继续向上飞行，直到地球重力阻止它继续上升并使它落向地球。如果暂时忽略空气阻力，在这段被称作弹道飞行的无动力飞行中，火箭就像一只被踢了一脚的足球，呈抛物线轨迹运动。喷气式飞机也可以在大气层沿同样的轨迹飞行，如图1.9所示。图的左侧是飞机的动力飞行阶段，到了标有“微重力状态”的区域，发动机熄火，飞机沿抛物线飞行。

事实上，空气阻力的影响并不能忽略不计，它对弹道轨迹造成的改变可以计算出来。说到空气阻力，值得一提的是，火箭推进不需要空气。换句话说，火箭产生的喷射气流用不着反推空气就能推进火箭。

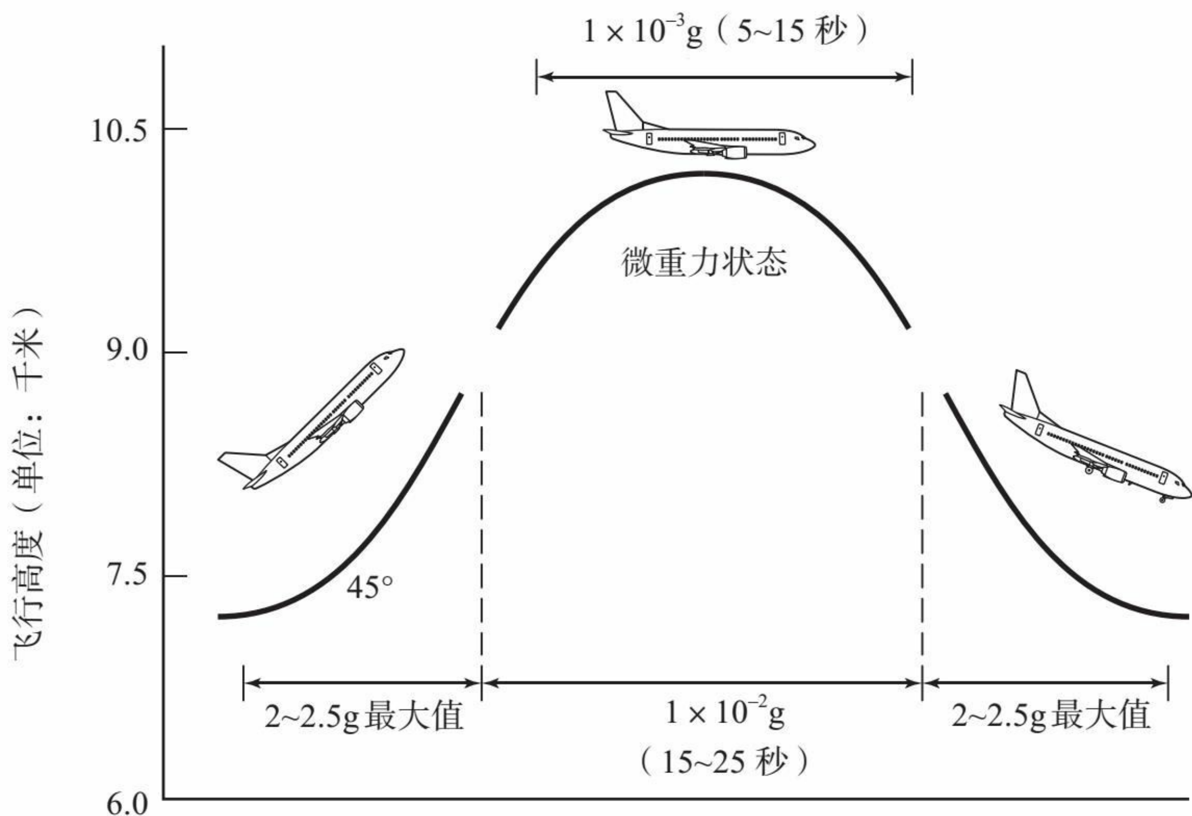


图1.9

抛物线飞行。上图标有“微重力状态”的中间区域代表火箭或飞机在没有发动机推动时沿抛物线飞行的阶段。图中的数字代表你将要在KC－135里接受的失重和超重训练的强度。

图片来源：美国国家航空航天局

①KC－135 喷气式运输机是美国宇航员失重训练常用的一种机型。

此外，在太空的真空环境中，火箭不需要驱开空气前进，所以推进效率要高于大气层飞行。太空中极为稀薄的空气意味着我们不必再担心空气的影响。

科学与科幻作品

声音是空气压缩和稀薄化的结果。压缩是将气体原子和分子聚

集在一起，稀薄化是与压缩恰恰相反的过程，也就是空气变得比正常情况稀薄。换句话说，声音是空气压力变化的结果。因此，空气的存在是声音得以传播的必要条件。太空的空气密度是我们所呼吸的空气的10^{25}分之一，也就是说，在太空中，每立方米只有几个原子或分子。因此，像电影《异形》（Alien）里“诺斯托罗莫号”飞船这样的航天器在穿越太空或者爆炸的时候，基本上没有空气来传播声音。太空是个非常非常寂静的所在，你在看科幻电影时听到的太空声响真的并不存在。

---

1. 原文为“rocket”（火箭），用词不准确。事实上，火箭把飞船送入轨道之后就被抛弃了，接下来环绕地球飞行的是加加林乘坐的“东方1号”（Vostok 1）飞船。
2. 原文为“280”，有误。加加林和返回舱的预计着陆点是拜科努尔，实际着陆点是萨拉托夫（Saratov）地区的恩格斯（Engels），两地相距约2 800千米，而不是280千米。
3. 据说，穿着全套宇航服的加加林着陆后，对被他吓到的一对农民父女说：“不要害怕，我也是苏联人，刚从太空回来，我现在必须找到一部电话，好打给莫斯科。”
4. 雷·卡明斯（Ray Cummings，1887—1957），美国科幻小说家，著有750多部长篇和短篇小说。
5. 围绕其他恒星转动的行星被称为外行星或太阳系外行星。
6. 虽然在科学领域，数字可以做到高度精确，但过于精确的数字不但没有帮助，反而令人糊涂，所以我会使用“约”和“大约”这样的词语，便于你掌握概数，并将其与你已知的数字进行比较。
7. 抛出去，指太空碎片受行星引力的扰动而改变了运行轨道。
8. 从黄道面上方俯视，太阳系八大行星均逆时针围绕太阳转动。
9. 鸟神星的第一颗卫星是在我写本章的时候发现的。
10. 近地天体，指近日点小于1.3个天文单位的太阳系小天体。天文单位（AU）指太阳和地球之间的平均距离，1 AU≈1.5亿千米。
11. 地球轨道，指地球的公转轨道。同样，火星轨道指火星的公转轨道。
12. 内太阳系，指太阳系中太阳与小行星带之间的区域。
13. 这里呼应前文将彗核形容为“脏兮兮的太空冰山”。

14. 月球是地球的卫星。

15. 本书的很多数字都使用科学记数法来表示，具体方法详见本书附录。

16. 科学记数法是把一个数表示成a与10的n次方相乘的形式，其中1Ga＜10且n为整数。在原文中，本段的150×10^6，以及下一段的55×10^6、400×10^6等均不符合科学记数法的原则，这样写只是便于读者对各段距离进行比较。

17. 即公转周期。

18. 即气，氢的主要稳定同位素。

19. 伦琴被认为是X射线的发现者，所以X射线又称伦琴射线。

第2章

太空旅行素描



现在或是不远的将来，我们有7种太空旅行可选。正如我们已经了解的，最短的太空旅行会带你进入太空，但不会进入绕地轨道——一飞进太空就马上返回。第二种是进入绕地轨道，但不会继续飞得更远。第三种是飞往月球。第四种是脱离绕地轨道，飞向近地轨道上的天体，然后再返回地球。第五种是飞往地球的特洛伊小行星。第六种是飞往火星的卫星。最后一种就是飞往火星，既可以是单程也可以是往返，但后者可能在后勤和财务层面尤其具有挑战性。本章将讨论往返于地球与所有可能目标天体的太空旅行。

进入太空但不进入绕地轨道的太空旅行被称为亚轨道飞行。这种旅行最省钱，用时最短，所以我们先谈谈这个。

亚轨道飞行

亚轨道飞行像一趟分三个阶段的过山车。在起飞阶段，你会经历超重。接下来是短暂的失重。最后返回地球时，你会再次经历超重。当火箭载着你进入太空时，你会上升得越来越快，把你按到座椅上的力也会越来越大，让你感到自己变得越来越重。换句话说，火箭向上加速与地球向下拉扯对你造成的效果是完全相同的。即使我们静止不动，地球的引力也会使我们加速下落——尽管这听起来与直觉不符，但无论我们站着、坐着、躺着或是飘浮着，总有一个相等的向上的力，使我们不会下落。

当你向上飞行时，地球把你向下拉向座椅（像往常一样），而火箭的加速也将你推向同一个方向，即推向座椅。这使你比平时更加紧贴座椅，你会感觉自己比平时更重。在上升的过程中，你加速越快，体重就会越大。此时，你会发现很难举起手臂，因为你感觉手臂被更大的力按在座椅扶手上，其大小是你在地球上通常情况下所受重力的三四倍。

我们日常经受的地球重力加速度俗称$1g$。这种说法源自科学家们的一个惯例：在计算重力的影响时，他们普遍使用g这个字母来代表物体落向地面的正常加速度，也就是$9.8m/s^2$。[注]人体通常可以长时间承受$3g$或$4g$，这是你被火箭送入太空时感受到的超重程度。

说句题外话，当你在某个星球上处于静止状态或者坐在航天器里的时候，你的体重是计算你所受引力（来自这个星球）或推力（来自火箭）的量度。力和加速度两者直接相关：如果物体的加速度翻一倍，那么它所受的力也必然翻一倍。这种关系的数学表达式是F＝ma，其中F是物体所受的力，m是物体的质量，a是这个力对物体产生的加速度。如前文所说，质量不过是表示物体包含的粒子总数，因此，在地球尺度上，地球对你施加的向下的拉力等于你的体重。

如果在下落过程中你没有遇到任何阻力，那么你的体重会消失，你会进行人们常说的自由落体运动。你从跳水板跳出去的那一刻便开始自

由落体，即便最初你是在向上运动。从跳起到入水，你的运动轨迹呈一条抛物线（如第1章所说）。同样，在亚轨道飞行中，火箭停止加速（俗称熄火）以后，你乘坐的航天器也不再对你产生推力，你的体重会随即消失。

理论上，亚轨道飞行可以通过三种飞行器实现。第一种是水平起飞的飞机，靠火箭推动进入太空，待燃料耗尽后，沿抛物线滑翔回到地球。

第二个选项是使用传统火箭搭载航天器。过去的“水星号”（Mercury）、“双子座号”（Gemini）和“阿波罗号”（Apollo）飞船，现如今俄罗斯的“联盟号”（Soyuz）飞船，还有美国2014年发射的“猎户座号”（Orion）飞船，都采用这种方式。选择这种方式进行亚轨道飞行时，飞行器由火箭顶部搭载，火箭燃料耗尽时会与飞行器分离。之后，飞行器继续沿抛物线运动，先是向上飞行，然后滑翔着陆（如果有机翼）或者使用降落伞着陆（像“联盟号”飞船的太空舱）。

第三个选项是将火箭动力飞机挂在体积更大的母机下方。母机像普通飞机一样起飞，将挂载的飞机运送到尽量高的高空，然后释放。紧接着，被释放的飞机内部的火箭启动，推动自身继续向上飞行。待火箭熄火以后，飞机沿抛物线飞行，最后滑翔返回。

自20世纪40年代以来，第三个选项很明显成为亚轨道飞行器最有效率的发射方式，这是因为如果由母机承担载荷，那么升空阶段就不必消耗飞机自身的燃料。此外，两种运载工具的几乎所有部件都可以重复使用。最有名的火箭动力实验机可能要属X–15。它在将近15千米的高空脱离母机B–52轰炸机，之后以极快的速度爬升到大约108千米的高度——这个高度已经超越了卡门线。火箭动力飞机没有一次性部件（比如外挂燃料箱），再次使用前也不需要大规模翻新。在三种发射技术均可行的情况下，母机挂载火箭动力飞机可能是最具商业可行性的亚轨道飞行方式。

从你开始抛物线运动的那一刻起（见图1.9），直到下落过程中大

气层开始对你的航天器施加影响，这段时间里你将处在失重状态。失重也被称作微重力，是亚轨道飞行最有意思的部分，大概持续4~6秒。如果机舱的空间足够大，你会飘起来。

未来亚轨道太空游很可能使用有翼飞行器，它可以像普通飞机那样降落。在降落的过程中，当机翼开始摩擦大气层并且向上抬升飞行器（以减缓下落速度）的时候，你会倒在地板上，并感到体重增加。此时，失重状态下的抛物线飞行阶段即将结束，你需要回到座椅。随着机翼使飞行器不断减速，飞行器会在你身上施加越来越大的推力。在推力和地球重力的共同作用下，你会再次经受进入太空时$3g$~$4g$的加速度。随着飞行器转为常规飞行，高度逐渐下降，直到着陆，这份额外的推力会慢慢变小。

亚轨道飞行去程和返程预计需要30分钟至2小时的时间。

绕地轨道飞行

绕地轨道飞行指航天器先进入绕地轨道，然后从绕地轨道进入环地空间站。其间，旅行者将有机会欣赏地球的壮阔图景，沉醉于奇异而浪漫的太空际遇。

进入绕地轨道的路径或许与“联盟号”飞船目前飞往国际空间站的轨迹相似。推动你进入轨道的加速阶段只持续大约8.5分钟。初始轨道距地球表面240千米，但目标空间站的运行轨道通常需要更高一些，因为地球大气层可能受热膨胀到240千米的高度，而大气层产生的空气阻力会使空间站失去能量，下降，在进入大气层后烧毁。如果不需要过于频繁地把空间站推进到原始高度，空间站的维护费用可以很低。国际空间站的轨道离地球表面400千米，这个高度属于近地轨道（从卡门线开始并向上延伸至距地面1 900千米）。

到达目标空间站的过程分两步。第一步是进入目标空间站轨道下方

的初始轨道。之后，你乘坐的航天器将发射小型火箭，推动自身上升，继续远离地球。假设目标空间站与国际空间站大致处在同一高度——如果可能的话，那么在理想的情况下，这段额外的距离需要飞行5个小时。如果出现任何技术故障，比如你的初始轨道与计划略有出入或者设备需要维修，那么你可能需要2天时间才能到达目的地。

目标空间站的运行路径决定了你从轨道上能看到什么。在400千米的高度上，天体绕地球运行一周需要90分钟。因此，如果你在地球赤道正上方绕地球运动，那么每90分钟你就会回到原地一次。从赤道上空，你可以看到许多有趣的景象，但却无法看到南北两个半球的高纬度地区。例如，从赤道上方400千米高的轨道上看向地球，你看不到伦敦。

为了让你花的钱砸出最大的动静，你肯定希望能从太空饱览我们这颗神奇的星球。所以，你的目标空间站不会平行于赤道绕地运动，而是像国际空间站那样，与地球赤道形成50°的夹角（见图2.1）。这样，你最北可看到地球北纬50°（包括伦敦），最南可及南纬50°（包括澳大利亚墨尔本）。

我们飞往近地轨道相对容易，也能够实现相当快的绕地飞行速度。此外，近地轨道的另一个好处是，你与地球磁场捕获的高能太阳风粒子的距离相对更安全。地球被磁场包围（想想你可能摆弄过的条形磁铁和马蹄形磁铁的吸力和斥力，还有你用来固定小纸条的冰箱贴），这个磁场可以捕获大量高能、高速的质子和电子。捕获发生的两个主要区域被称为范艾伦辐射带，以詹姆斯·范·艾伦[注]的名字命名。1958年，他给早期火箭[注]配备的盖革计数器最终探测到辐射带的存在（见图2.2）。



图2.1

上面的曲线显示的是国际空间站绕地球运行接近一周的轨道。轨道的起始点位于美国西南部赤道上，终点在澳大利亚东北部的同一纬度。请注意，国际空间站每绕行一周，都会在不同的位置与赤道相交。由于交点在移动，所以每条轨道互不重合。最终，这些轨道将覆盖几乎整个地球表面。轨道的浅色部分表示白天。

在范艾伦辐射带被捕获的粒子的运动速度是如此之快，以至于能够击穿太空服、防护装备以及航天器和卫星的外壳。因此，如果长时间在范艾伦辐射带内飞行，人体和设备会遭受极大破坏。内辐射带大致从距离地面965千米处开始向外延伸，但这条辐射带上有一个叫作南大西洋异常区（South Atlantic Anomaly）的区域，辐射带在这个区域下降到距地面约200(注)千米处（见图2.2）。国际空间站每天5次经过这个区域，在范艾伦辐射带停留最多23分钟。有宇航员报告说，经过这个区域时，由于高能粒子穿过了他们的眼睛和大脑，他们曾见过“流星”。

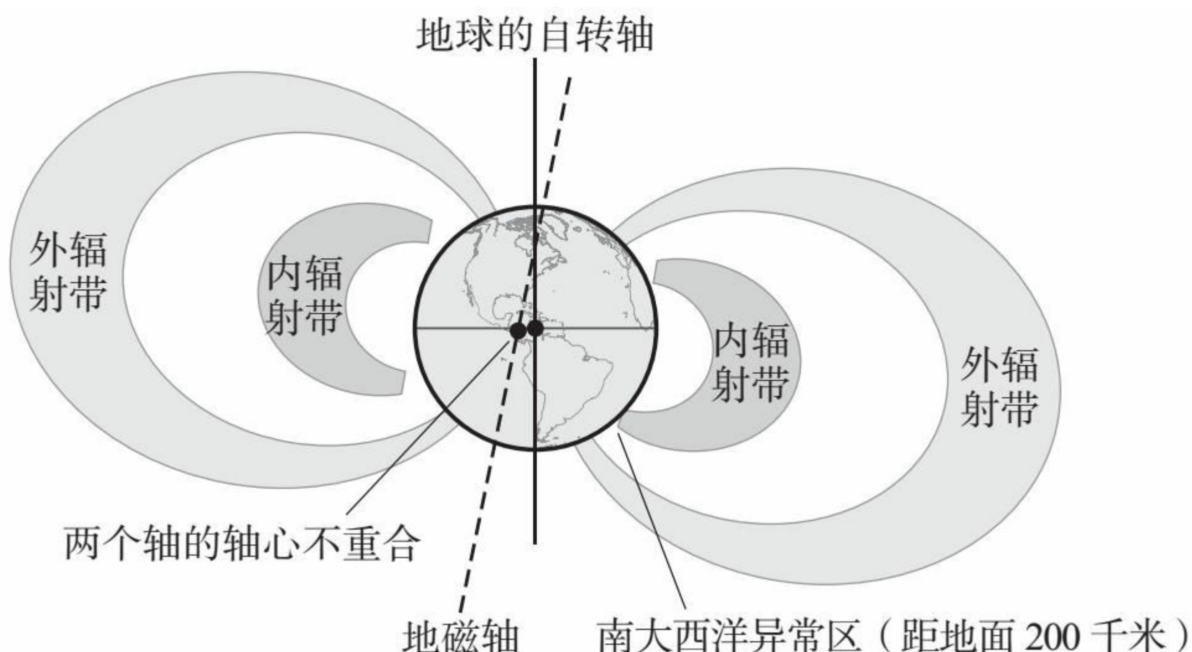


图2.2

地球剖面图和两个主要的范艾伦辐射带。范艾伦辐射带含有大量从太阳涌向地球的高能带电粒子。
图片来源：弗里曼出版公司

结束空间站的各种旅游项目（可能包括一次太空行走）之后，你要么坐着太空舱或者使用降落伞回到地球（“联盟号”飞船采用了后一种着陆方式），要么让有翼航天器载着你像普通飞机那样降落。

绕地轨道飞行往返所需时间从一个星期到几个月不等。

飞向月球

月球是人类早期太空旅行的理想目标。首先，20世纪中期的科学和工程技术水平已经足够把宇航员送过去。此外，月球质量比地球小，用相同工程技术造出的火箭也足以把宇航员带离月球，进入绕月轨道，返回地球。（苏联向月球发射过多艘无人飞船，其中3艘将月球表面的样本带回了地球。）假如月球具有火星的质量，那早期技术便不足以克服

月球重力，把宇航员带离月球返航。我们将在谈到火星旅行的时候详细讨论这一点。

往返月球向来是一项劳民伤财的事业。美国国家航空航天局在历次阿波罗任务中故意浪费掉的硬件不计其数。阿波罗宇航员先进入绕地轨道，最低两级火箭随即被抛弃，并在回到地球大气层时烧毁。第三级火箭推动一艘最初由四部分[注]组成的航天器脱离绕地轨道，快速穿过范艾伦辐射带，到达“地月转移轨道”，然后被抛弃。此时，只剩下指挥舱、服务舱和登月舱。（登月舱分为下降级和上升级，负责将两名宇航员[注]带到月球表面，再带回绕月轨道。）接近月球时，服务舱推进器启动，服务舱减速，进入绕月轨道。此时，登月舱与指挥舱和服务舱分离，并在登月舱火箭的作用下减速，降落到月球表面。

登陆的两名宇航员对月球的一小块区域进行探索，之后进入登月舱的上升级。上升级点火升空，把他们带回绕月轨道上的指挥舱和服务舱。登月舱的下降级大部分留在了月球表面。登月舱上升级与轨道器[注]对接，两名宇航员以及他们采集的东西一起回到指挥舱。然后，登月舱上升级被抛弃，服务舱推进器再次启动，三名宇航员驾驶指挥舱脱离绕月轨道，飞向地球。途中，服务舱也被抛弃，在地球大气层中被烧毁。指挥舱用降落伞降落在海上，再由直升机接走。

很明显，这种硬件使用方式十分低效，因为在离开绕地轨道的整个硬件系统中，指挥舱的质量仅占百分之几。这对7次阿波罗任务来说不是问题，但从经济性出发，未来的太空旅行无法接受这种方式。正因如此，等到你往返月球的时候，很可能各阶段使用的航天器都是可重复使用的。

将来你去月球需要经过这样几个步骤。首先，你要进入前文提到的近地轨道。你可以在近地轨道空间站里待上几天，让自己适应微重力环境。然后，你将乘坐航天飞机从绕地轨道到达绕月轨道。离开绕地轨道的关键是尽快穿过范艾伦辐射带，以尽量减少暴露在辐射中的时间。穿过范艾伦辐射带之后，你将飞向月球。从绕地轨道到绕月轨道的飞行大

约需要3天。在此期间，你会处于失重状态，但航天飞机加速脱离绕地轨道和减速进入绕月轨道的几分钟除外。然后是对接过程。你可以与空间站对接，登陆器会在那儿等着你；或者你直接与绕月飞行的登陆器对接。不论哪种情况，登陆器都会把你带到月球表面。注返航可能就是把上面的流程反过来。

从地球飞往月球或从月球回到地球可能需要3~7天，你在月球上可以逗留几天到几个月。

飞向小行星和彗星

对于近地天体，选择哪些作为太空旅行的目的地取决于你什么时候飞出地月系统。但是，前往不同近地天体所花费的金钱和时间成本千差万别。原因有二。

其一，地球的特洛伊小行星之外的所有近地天体，它们绕太阳公转的周期都与地球不同。这意味着，如果我们以地球为出发点，这些近地天体只会偶尔处于我们能在合理时间内（几个星期或几个月）到达的位置。

其二，许多近地天体的公转轨道不是完全位于黄道面上的。通常，我们会把航天器送到运行轨道位于黄道面或十分接近黄道面的行星或太阳系小天体附近。这比把航天器送到严重偏离黄道面的平面上要少消耗很多能量。

霍曼转移轨道是前往地月系统以外目的地的一条有效路径。如图2.3所示，你只需要启动航天器的火箭两次即可。

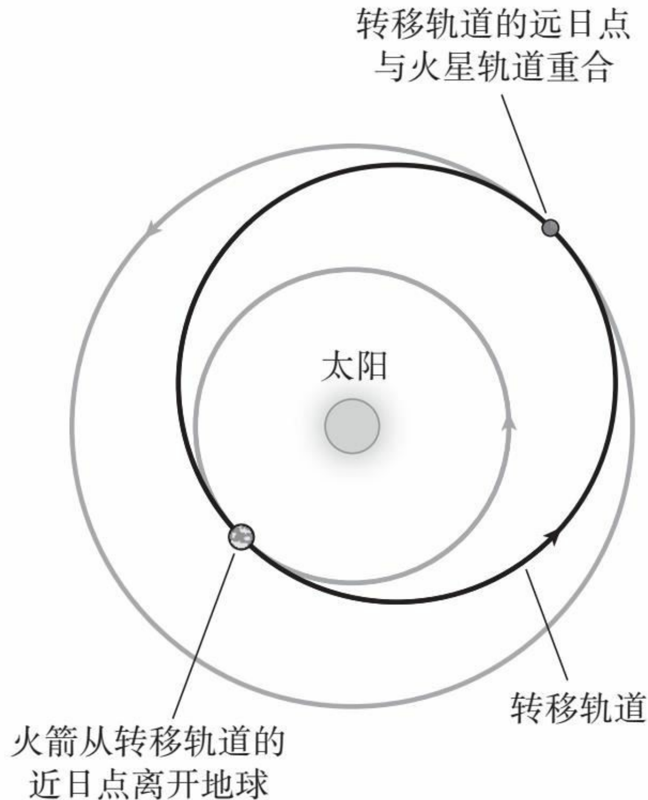


图2.3

从地球到火星的霍曼转移轨道。此路径同样适用于前往黄道面近圆轨道上的任何天体。
图片来源：美国国家航空航天局

离开绕地轨道比脱离地球表面要容易得多。比起将你送上绕地轨道的火箭，一个小功率火箭就足以推动你的航天器从绕地轨道向外飞行。在接近目的地的时候，你需要再次启动火箭，将航天器送入轨道，开始环绕目标天体运行。你不需要修正航线，但这只适用于黄道面近圆轨道上的天体。要前往轨道面与黄道面成小角度的天体——人类太空旅行的很多目标天体都属于此类——需要多次点火，对霍曼转移轨道进行航线修正。

另一个近地旅行的目的地是地球的一颗特洛伊小行星，目前编号为2010 TK7。在绕日公转方向上，它在地球的前方，以太阳为顶点与地球形成约60°的夹角。前往这颗小行星的路径不同于前往其他天体的路

径，但十分简便。航天器只要略微调整对地速度和方向，就可以飞到地球的前面，朝着目标前进。这颗小行星最长的部分约300米，早晚会以某个特洛伊英雄的名字来命名。请把它的新名字写在这里：________。

显然，2010TK7与地球的相对位置永远不变，这使我们很容易接近它。理论上讲，你可以随时飞过去。对于阿波罗型、阿莫尔型和阿蒂拉型小行星，你就做不到这一点，因为它们仅仅在某些特定的时候出现在地球附近，这要求你必须提前几个月或几年就从地球出发。

但是，2010 TK7的运行轨道并不在黄道面上。事实上，它在绕太阳运行时，好像海豚追逐海上的船一样，一会儿在黄道面的上面，一会儿在黄道面的下面。航天器飞到它附近的花费相对较低，但由于它忽上忽下，航天器要想进入它的运行轨道然后登陆，就需要消耗更多的燃料。如果让运行在黄道面上的航天器等着它穿过黄道面的那一刻进入轨道，显然很复杂，因为那一刻它要么正穿过黄道面向上爬升，要么正穿过黄道面向下俯冲。你需要一个火箭推进器，让航天器获得一个与它相匹配的垂直速度。此外，你还需要另一个火箭推进器，用来把航天器送回黄道面轨道上。正如前文所说，技术不是问题，钱才是问题。地球很可能还有其他特洛伊小行星，而其中有些说不定就在紧邻黄道面的轨道上运行。如果确实如此，那么在21世纪前往这些小行星是相对经济可行的。



知道了阿波罗型、阿顿型、阿莫尔型和阿蒂拉型小行星以及短周期彗星的运行轨道之后，天文学家就可以预测它们什么时候会足够靠近地球，让我们前往那里的旅行具有后勤上和经济上的可行性。我想，未来早期前往这些天体的人里面，会有研究型宇航员，还可能有要到那里开矿的工人。同行的也会有游客，这让人想起那些不定期货船，在运送货物的同时，也会捎上愿意付路费的旅客。

我们可以通过两条路线前往小行星或彗星。两条路线都从进入绕地轨道开始。这之后，一个选项是从绕地轨道进入一条与目标天体运行轨道相交的轨道上，另一个选项是从绕地轨道进入绕月轨道，再从绕月轨

道飞往目标天体。宇宙空间科学家之所以考虑后一个选项，是因为从绕月轨道进入星际空间，比直接从绕地轨道出发要节省燃料，也就相当于节省金钱。同理，从外层空间回来的时候，先进入绕月轨道再回到地球的路线有时候也更高效。

综上所述，天文学家正在整理一份清单，上面会列出我们有可能进行勘探、开采和旅游的目标天体。我们在做旅行计划的时候，要特别注意飘忽不定的彗星，因为运行轨道在黄道面上的彗星相对较少，而少数在黄道面上运行的彗星每次途经行星和矮行星时，通常都会受到引力拖拽，偏离轨道。

前往途经地球的小行星或彗星，所需时间取决于目标天体的运行轨道与黄道面的相对位置。你可能要留出几个月、一年甚至更长的时间。

飞向火星及其卫星

飞往火星及其卫星是人类在不远的将来进行太空旅行的最高目标。正如我们所了解的，到达火星附近的第一步是从地球进入绕地轨道。从绕地轨道直接飞到火星是最经济划算的。就像电影《2001太空漫游》（*2001: A Space Odyssey*）和《火星救援》（*The Martian*），我们可以在飞往火星的航天器内制造人工重力。这需要在航天器内安装一部超大型离心机。它缓慢地转动，令乘员向其外边缘相对运动[注]。在合适的转动速度下，你相对于航天器外壳的加速度可以正好是1*g*。这样，你站在外边缘上，就能感受到自己的正常体重。但是，这么做非常昂贵，所以未来头几批火星旅行者可能还是会在失重状态下飘浮着。

你的飞船可能需要借助霍曼转移轨道到达火星。或者，你可以采用效益更高的弹道捕捉方式，也就是让火星的引力把你的飞船拽上轨道。这么做的优点在于，不需要在进入霍曼转移轨道时使用火箭让飞船减速，但缺点是耗时更长。

在进入绕地轨道之后和减速靠近火星之前，你会处于失重状态。在大型离心机变得经济可行之前，情况一直会是这样。正如前文所说，地球和火星公转周期的差别对往返两者所需的时间产生极大的影响。在我们发往火星的轻型航天器里，“水手7号”（Mariner 7）大约需要4个月，“海盗2号”（Viking 2）差不多需要1年。预计火星之旅的去程需要6个月至1年的时间，返程用时基本相同。

让我们先看看火星的两颗卫星。与地球的卫星（即月球）不同，它们跟火星比起来非常小，形状也不规则（见图2.4）。月球的质量是地球的1.2×10^{-2}倍，火卫一（Phobos）的质量是火星的1.7×10^{-7}倍，火卫二（Deimos）的质量就更小了。事实上，火卫一和火卫二可能是被火星捕获的小行星。火卫一距离火星表面6 000千米，其表面任意两点之间的距离都小于27千米。火卫二距离火星表面20 000千米，它的长度大约是16千米。它们的运行轨道距离火星如此之近，以至于火卫一每$7\frac{2}{3}$小时就会绕火星一周，稍微远一些的火卫二绕火星运动一周大约需要$30\frac{1}{3}$小时。相比之下，月球每27天才绕地球一圈。我们还没有向火卫一或火卫二发送任何航天器。尽管如此，火星轨道器拍摄下的图像显示，这两颗卫星的表面都有陨坑和粉状表土。登陆和飞离它们所需的能量微不足道。

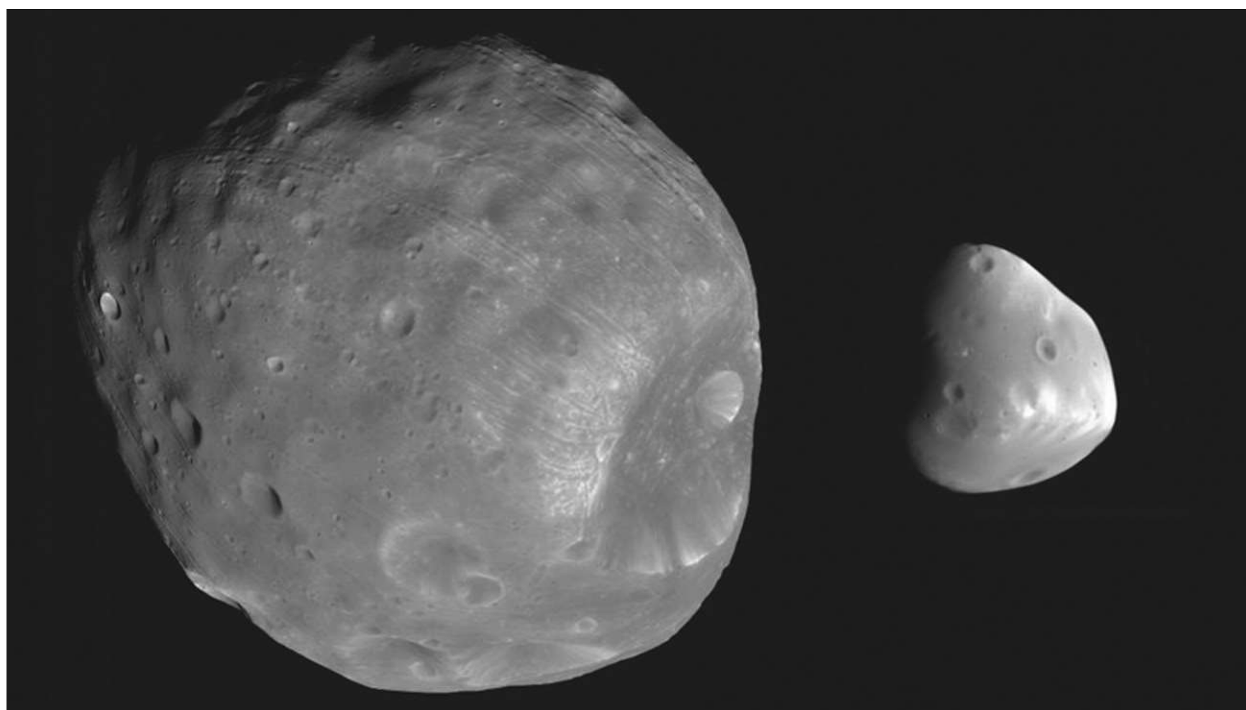


图2.4

火星的两颗卫星：火卫一（左）和火卫二（右）。上图拍下了几乎覆盖火卫一右半边的斯蒂克妮坑（Crater Stickney）。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室（JPL-Caltech）、亚利桑那大学（University of Arizona）

读到这里，你多半会产生疑问：为什么大老远飞到火星，却只登上它的卫星呢？我不会跟你说些激动人心的推销口号，比如“它们的成分主要是黄金，你可以带一些回来”。我们不知道那里有没有黄金，但这并不意味着我们在今后的探索中不会发现吸引人的东西。只到卫星上去的原因平淡无奇——我们确实能够到达那里并安全返回。相比之下，飞到火星上再飞离，会遇到目前为止最大的技术挑战（尤其是飞离阶段）。因此，在可预见的将来，这也将是最昂贵的太空飞行。

再来看看登陆和离开这颗红色星球需要解决的问题。火星的直径大约是地球的一半，月球的两倍。火星表面的重力（你在那儿的体重）大约是地球的0.4倍，月球的2.3倍。那又怎样呢？答案是，登陆火星要困难得多，因为与月球和其他任何目标天体相比，火星会对登陆器产生更大的拉力。同样道理，离开火星也比离开月球要难得多。

让我们先看看登陆。一个天体对登陆器的拉力越大，火箭和其他登陆设备就需要越大的动力来减速，以便实现软着陆。与月球不同，火星有大气层。这让登陆火星变得更加复杂。火星表面的气压大约是地球表面的0.006倍[注]。换句话说，火星上的空气比我们日常呼吸的空气稀薄60倍。即便火星空气的化学组成适合人类呼吸（事实上并不适合），如此稀薄的空气也无法提供我们生存所需的氧气量。

火星大气的低密度和低气压会影响登陆过程，几乎每次登陆火星都要用到降落伞。位置越低，空气密度就越高，所以我们通常在峡谷里登陆。在那里，密度较高的空气可以有效降低降落伞的速度。但是，就算预定降落地点是火星上空气密度最高的地方，想要软着陆，只用降落伞也是做不到的。我们还需要其他设备，比如等降落伞初步减速之后再启动的火箭。

正因为有这些挑战，所以在可预见的将来，不大可能出现登陆之后还能再次起飞的登陆器。但是，正如《火星救援》这些科幻电影所展现的，我们可以让一套单独的返回火箭在火星上安稳着陆，即便需要靠它们返航的人还没登陆火星。这是为了保证返回火箭能够正常工作，以便后来的人想回家的时候就可以用上。

返回火箭着陆火星遇到的第一个问题是大气层。空气阻力会使火箭升温，破坏其机械和电力设备。空气的反复冲击还会使火箭弯曲，造成电线或者金属部件断裂。返回火箭如果做不到极为轻缓的着陆，那着陆产生的撞击力可能会严重损坏火箭。仅一处故障就能导致火箭发射失败，或在升空过程中严重偏离航线，造成箭毁人亡。

离开火星则没有那么困难，因为这完全是一个工程问题，不需要克服任何纯粹的科学障碍。只要投入足够多的钱，我们就能开发出这样的上升火箭：它能够安全登陆火星，进行燃料补给，然后载着人们离开这颗红色星球。这就是为什么在太空旅行这个行当里，有些人关注的是单程旅行，这也解释了为什么只去火卫一和火卫二会便宜很多。尽管已经说了这么多，但我还会在第10章讨论游客和移民在火星上的各种机遇。

科学与科幻作品

想象你拿着一个瘪气球，橡胶柔软又有弹性。现在开始吹气。你需要颇费些力气才能把足够的空气吹进去，好让气球鼓起来。终于，你手里的气球充够了气，变成一个相对硬挺的橡胶物体。这意味着，在足够的气压下，如果你松开气球，它会满屋子乱飞，同时里面的空气也会窜出来。

在这个情境里，你是在正常大气压下进行呼吸，也就是100千帕（千帕是1 000帕斯卡的简写形式），这个压力差不多就是航天器内的气压。事实上，这也是国际空气站内的气压，并且很可能成为大多数地外航天器和居住地的标准气压。但是，在电影《火星任务》（Mission to Mars）里，登陆火星的救援人员发现卢克·格雷厄姆（Luke Graham）生活在一个温室里（那里适合培养植物，用它们吸收二氧化碳，释放氧气，也可以作为食物），温室的布面墙在风中摇晃着。问题在于，正如前面所说，地球和温室内的气压大约是火星气压的160倍。所以，温室的布面墙本应该像气球一样向外膨胀，而不是在风中摇晃。布面要是不够结实的话还会胀破。

---

1. 下落物体的下落速度每秒会增加9.8米/秒。例如，一个物体正在以9.8米/秒的速度下落，那么下一秒，它的速度会变成19.6米/秒。
2. 詹姆斯·范·艾伦（James Van Allen，1914—2006），美国物理学家。以他名字命名的范艾伦辐射带是人类1957年进入太空时代之后的第一个重要天文发现，为美国进入太空时代奠定了基础，范·艾伦本人也被称为带领美国跑进太空时代的先驱之一。
3. 此处说法不准确。实际上，装有盖革计数器并发现辐射带存在的是1958年美国发射的两颗人造卫星：“探险者1号”（美国发射的第一颗人造地球卫星）和“探险者2号”。
4. 原文为“190”，有误，应为200。
5. 其实更普遍的说法是三部分，即指挥舱、服务舱和登月舱。作者可能把登月舱下降

级和上升级看作两个部分。

6. 从地球出发时共有三名宇航员，另外一名宇航员留在绕月轨道上。

7. 即留在绕月轨道上的指挥舱和服务舱。

8. 在最早的一款电脑游戏《月球登陆器》（*Lunar Lander*）里，玩家使用键盘控制一艘月球登陆器的下降过程。如果登陆成功，会有一名宇航员爬出登陆器，到月球上的麦当劳餐厅吃午饭。你或许会有这样的机会，但太空饮食的特殊性要求麦当劳餐厅调整菜单。

9. 原文无“相对”字样，表述不准确。离心机中的乘员并不受到向外的推力，而是因惯性相对于离心机外壳运动，显得有一个加速度。

10. 原文为“0.007”，有误，因为作者在后面会提到，火星表面的大气压为0.6千帕，地球表面正常大气压为100千帕，所以这里应该是0.006或0.6%（见第7章和第9章）。

第3章

为旅行做准备



如今，筹划一次地球上的长途旅行十分简便。举个例子，我和妻子从来没去过爱尔兰，所以打算去那儿玩玩。我们先跟去过爱尔兰的朋友打听了一下，网上冲浪几小时，然后我们决定去翡翠岛。互联网上关于路线、景点和食宿的选择应有尽有，点几下鼠标即可完成预定。接下来，查看护照是否在有效期内，检查签证要求和疫苗情况，确保手机在那里可以使用，查询旅行期间的天气预报，以便决定带什么衣服，还要带好所需药品。此外，再研究一下爱尔兰的历史名胜，买几本务实的旅游指南，或者下载几本到智能手机或平板电脑上。理想情况下，用上几个小时或几天就能完成所有这些工作，然后就可以出发了。

相比之下，你的太空旅行则需要多一些规划和研究。选定目的地之后，你的第一步是找到一艘能把你带到那儿去的航天器。跟在地球上一样，这一步可以在互联网上完成。这是简单的部分，下面才是困难的部

分。所有计划进行太空旅行的人都必须接受检查，以便确认是否有不宜进入太空的体格、口腔和心理问题，而你在地球上预定一班飞往爱尔兰的飞机可用不着接受这样的检查。

你的病历很重要。人类对太空的适应性研究十分有限，因为去过太空的人实在太少。外科医生的确还不清楚每种既有疾病对太空旅行的影响，以及太空旅行对每种疾病的影响（无论是既有疾病还是在太空患上的疾病）。此外，到现在为止，去过太空的人在太空停留的时间有长有短，乘坐的航天器连一点点相似都谈不上，甚至也没有完整地报告他们在太空经历的所有疾病。因此，很难肯定哪些疾病确实是太空旅行造成的。

行前筛查

不管怎样，我们正在将对太空旅行者的某些特定要求整理成文。2007年，第一套国际空间站访问者标准由商业太空运输卓越中心（Center of Excellence for Commercial Space Transportation）出版，并在2012年更新再版。这些标准得以推出，依靠的是美国联邦航空管理局（U. S. Federal Aviation Administration）的资助，但目前仍是非官方标准，今后可能会继续更新。标准的设定参考了三方面经验。第一，日常的社交、健康和心理经历为我们判断哪些人适合而哪些人不适合进入太空提供了基本原则。例如，像患有某些社交障碍、在地球上无法与人正常沟通的人，我们禁止他们进入太空，因为他们可能会在太空里形成隐患。同样，我们也不允许患有某些疾病且无法有效治愈的人访问国际空间站。这样的疾病包括某些类型的心脏疾病，导致无法使用关键旅行装备（如太空服和头盔）的身体畸形，不可挽回的听力问题、视力问题、血液病、呼吸和消化问题、糖尿病和痛风等新陈代谢疾病、甲状腺疾病和肾脏疾病。

对女性太空旅行者的要求更加苛刻，因为在太空中，妊娠和受精卵

的安全是个大问题。尽管我们还没有在太空中培育过胚胎，但据说，微重力和高剂量辐射会导致胚胎和母体出现严重问题。因此，除非且直到我们找到解决办法，孕期妇女不可以进入太空。

心理标准的设定主要是基于人在模拟太空条件和地球极端环境下的表现，包括潜艇、洞穴、南极洲、军事航空任务等压力大、要求高的隔绝环境。

去过太空的人都会受到太空经历的影响，即便在生理和心理上都适合太空旅行的人也不能幸免。我们正在汇总所有太空旅行者的生理、社交和心理状况，而这一知识体系正在不断扩充并开始具有统计学意义。研究人员目前正在识别太空飞行通常会导致的一些问题。这类信息对确定哪些人适合做宇航员具有指导意义。例如，我们目前正在比较两个数据，一是从太空返回的宇航员患青光眼的比例，二是其他条件相似但没去过太空的人患青光眼的比例。虽然我们掌握的信息越来越多，但统计分析的难度在于，要得出有意义的结论，我们必须把年龄、性别、病史、暴露在太阳光下的程度等各种因素考虑在内。事实上，太空医学只有几十年的历史，是一个有待发展的领域。

想进一步了解太空旅行前必须接受的体检，你可以在线阅读2012年版的《飞行人员体检标准与商业太空飞行参与者体检合格指南》（*Flight Crew Medical Standards and Spaceflight Participant Medical Acceptance Guidelines for Commercial Space Flight*）。有些体检结果可能导致你无法进入太空，而有些结果只要求你在行前接受治疗。

法律和保险问题

你需要了解太空旅行涉及的法律和保险问题，这很重要。无论什么时候乘坐飞机，我都会购买旅行和旅行取消险。这份保险的承保范围很广，包括错过转接航班、意外死亡和伤残、正常医疗保险范围以外的医疗救治、偷窃、行李损坏、行李丢失、旅行取消等等。看起来，你的太

空旅行也需要购买类似的保险。

保险公司已经推出了面向太空游客和太空旅行公司的保险产品。然而，保险相关问题十分复杂，值得我们多些了解。先说重点：保险费率取决于需理赔事件（比如旅行取消）的发生概率和保险公司在事件发生时需要赔付的金额。精算师运用各种数学工具，基于承保事件的相关数据，计算出客户购买一份保单需要支付多少保费。

确定太空旅行保险费率的最大问题在于还没有几个人到过太空，事故和理赔也没有几例。此外，保险公司还需要一个用于支付索赔的资金池。通常来说，保险公司会收取足够的保费，在支付索赔之后仍会有盈利。但太空旅行保险是一个新兴业务，保险公司已收到的保费远远不够。他们要么依靠其他资金来源，要么只能寄希望于极低的理赔率，让他们先赚足了钱再去理赔。

还有几个重要的保险问题。假设一个搭载载人航天器的火箭在发射台上爆炸了，那么会有以下几方要求理赔：首先是太空旅行公司，作为火箭和发射系统的所有者，它必定为这些硬件投过保，这家公司要是明智的话，还会购买收入损失险，用于对冲公司在发射系统再建和事故原因调查期间的损失，因为在政府（比如美国国家航空航天局）调查期间，发射系统很可能会停用；其次是有效载荷的所有者，可能是太空旅行公司，也可能不是，但所有者必定已为航天器购买了保险；再次是机组人员和乘客（或者说他们中间的生还者）；最后是没有参与太空旅行但因事故遭受损失或伤害的各方，即第三方。

太空旅行公司一定要有第三方责任险。例如，你乘坐的航天器起飞后，机体的一部分掉到别人家的游泳池里，把泳池毁了。在这次太空旅行交易中，公司是第一方，你作为乘客是第二方，游泳池的所有者与本次交易无关，所以是第三方，他绝对有权要求太空旅行公司赔偿。涉及死亡的第三方事件自然更为严重，赔偿金额也更大。

事故真的发生过。2015年6月28日，太空探索技术公司（Space Exploration Technologies Corporation，简称SpaceX）拥有的一枚“猎鹰9

号”（Falcon 9）火箭要运输物资和实验设备到国际空间站，但在发射后几分钟就爆炸了。火箭及其有效载荷虽然被烧毁，但都在保险范围内。当时，火箭从佛罗里达州卡纳维拉尔角（Cape Canaveral）发射升空，一路向东飞，所有残骸都掉进了大西洋，没有造成任何第三方伤害或财产损失。

现在谈谈与太空旅行相关的法律问题。假设你乘坐太空舱前往你下榻的太空旅馆，途中，你的手臂被舱内一个巨大的食物容器砸伤了，你可以起诉太空旅行公司或旅馆吗？答案是否定的，因为你在出发前应该已经在知情书上签了字，这表明你已知晓潜在的危险，并且同意在出现伤亡的情况下，不要求太空旅行公司或旅馆承担责任。如果你受伤，保险公司会支付相关费用；如果你死亡，你的保险受益人将获得保险金，具体有多少钱要取决于保额。

与太空旅行相关的法律问题极为复杂，所以在编撰成典之前，我们还有很长的路要走。让我们看一个例子。假设你乘坐的航天器从位于亚利桑那州南部的美国航天港（Spaceport America）升空，不知哪里出了问题，航天器最后迫降在得克萨斯州阿马里洛市（Amarillo），给40号州际公路、附近的农田和航天器自身都造成了巨大的破坏。太空旅行公司应该遵循哪里的责任法呢？亚利桑那州[注]的？得克萨斯州的？阿马里洛市所在的波特和兰德尔郡（Potter and Randall）的？联邦的？这个问题尚待解答。

再看另外一个例子。假设航天器从卡纳维拉尔角起飞，在德国坠毁，这应该依据哪里的责任法呢？联合国对此类事项有决定权，但前提是相关国家已达成共识。这很难实现，所以现行法律的措辞足够模糊，否则通过和实施起来都要大费周章。不过，既然商业太空旅行已经兴起，我们必须将这些法律事项完善成为有意义的法律条文。不必多说，除了太空医学，太空法律也是一个有待发展的领域。

---

1. 原文为“New Mexico”（新墨西哥州），有误，应为亚利桑那州。

第4章
太空旅行训练



我认识一个叫艾利克斯的人，他从来没坐过飞机（除了人名和地点，这个故事是真实的），他想从缅因州前往加州参加一个科学会议。我也是参会人之一，所以我提出来要帮他安排旅行，他欣然接受。我先告诉他怎样收拾行李，以及允许和禁止带上飞机的东西。在缅因州班戈市的机场，我让他看我怎样办理登机手续，然后让他自己办理。在过安检时，我解释说，运输安全管理局（TSA）的工作人员是在履行工作职责，并不是故意找碴儿。之后，我先过了安检，他跟在后面。此后的每一步，我都告诉他会发生什么以及怎样处理。必要时，我们还做总结。等我们抵达洛杉矶的时候，他已经完全适应了这个过程。

或许除了亚轨道飞行之外，太空旅行跟地球上的任何旅行都大不相同。因此我预言，太空旅行绝不可能简单。那么，让我们接下来想想，在为太空旅行做准备时，你需要接受哪些训练。

一名职业宇航员根据其在任务中的角色，通常需要经过两到三年的训练才有资格进行太空飞行。你的行前训练要短得多，具体需要多久取决于你的目的地。从现有可行的商业太空旅行来看，亚轨道飞行需要训练几天，绕地轨道飞行和飞向月球需要至少一到三个月。飞向太空碎片[注]和火星所需的训练时间则要长得多，因为问题更复杂，飞行时间更长。后几章的内容会让你明显感受到这些差异。

所有太空旅行的基本训练都会从课堂和书本开始，你可以从中了解即将在太空经历的事情。接下来是太空旅行可模拟部分的实操训练，你会体验极限加速度、微重力、低气压、宇航服、进舱和出舱、全身式安全带（豪华的座椅安全带），还有如何在微重力下吃饭、喝水、上厕所以及处理各种突发情况。所有这些都会帮助你为大多数太空经历做好准备。心中有数会让你的旅行稳妥安全，如愿以偿。相比之下，如果毫无准备，情况必定会混乱不堪。

你在太空时的心理状况也至关重要，这包括怎样与同伴相处，怎样充分利用时间和机会以及怎样远程处理家里的事情。在你出发前，会有人跟你探讨这些问题，教给你妥善处理的方法。我会在第7章展开说明。

微重力以及暴露在太空粒子和太空辐射下的很多经历，在地球上都找不到类比。因此，我们的重点是研究在微重力环境下适应几天，你的身体会发生什么样的变化。第6章将讨论这个问题。现在，让我们谈谈行前的实操培训，这将对你能否适应太空生活起到关键作用。先从“拉动*g*”（pulling *g*s）谈起。

极限加速度

在飞往太空和返回地球的途中，你将多次经历超越任何过往体验的加速度。加速度一般指运动速度或方向的变化。我们常常会把速度或曲

线运动速率的增加称作加速，把速度或曲线运动速率的减小称为减速。从现在起，在需要区分两者的时候，我会慢点儿说。在进入轨道和返回地球的途中，你将在上升过程中经历大约9分钟的极限加速，然后在降落过程中经历大约8分钟的极限减速。

这种极限运动的感觉是什么样呢？想象你一脚踩下豪车的油门，6秒钟后，你的速度达到97千米/时。这显然是一个加速的过程，所以你会感到一个把你推向座椅靠背的力（F＝ma）。注我们把这个加速度与正常的地球重力加速度（$9.8m/s^2$）做个比较。例如，由于地球重力，你朝地球下落的每一秒，都会比前一秒的速度快9.8米/秒。正因如此，经历加速或减速的术语是“拉动*g*”。记得我们在第2章谈到，1*g*是1个地球重力加速度。在汽车启动之前，你在水平方向上拉动0*g*，而在加速时，你是在水平拉动将近0.5*g*。注

人是相对脆弱的生物。我们在任何方向上只能承受某个有限的加速度，否则会遭受永久性损伤或者一命呜呼。此外，加速度与身体的角度也是决定你能承受多少个*g*的一个重要因素。假设你是一个健康的成年人，站在一部电梯里，电梯开始向上运动，此时你经历的加速度与脊柱在同一条线上，你身体里的血液向脚部流动。如果加速度足够大——比如5*g*，那会有大量血液快速离开你的大脑，引起昏迷，更不用说压碎脊柱，造成其他内伤了。

假设你坐在汽车里，正在经历被压向座椅靠背的加速过程。在此期间，你体内的血液从身体的前部流向后部。在行驶中，你发现前方有事情发生，不得不踩刹车。在这个减速过程中，你会感到被某种力量向前推，体内的血液流向身体前部。在这两种情况下，一个健康的成年人在坐姿状态下最多只能承受几分钟大约6*g*的加速度。超过这个极限，人会昏过去。

说句题外话，你跳起或者落下时，地球重力会使你加速向下运动。不管你原来的速度有多快，在着地的时候，撞击力会让你的速度降到0千米/时。跟坐火箭相比，这是一个急促的减速过程。对于这种突然而

急剧的速度变化，人体的承受能力是有限的，这就是为什么如果我们从足够高的地方掉下来会摔伤。在理想的太空飞行条件下，你不会经历突然的加速或减速，但应该对这种情况有心理准备，比如对接机动出现偏差时。

长时间处于极限加速或减速状态可能导致相当严重的后果，包括昏厥、脊柱骨折、视力损坏、失明、动脉瘤（血管凸起）、整个循环系统尤其是心脏系统的损伤等等。

在太空旅行的上升和返回过程中，你必然要经历巨大的加速度，所以你要在进入太空之前接受加速度耐受力测试。这需要用到一台大型离心机（见图4.1），也就是高科技版的旋转木马。



图4.1

离心机。宇航员在旋转的离心机里体验类似于发射和返回地球大气层时所经历的巨大推力。
图片来源：美国国家航空航天局

通常，你会被固定在离心机的外边缘，面朝里（虽然其他方向也是可能的）。然后机器开始旋转，速度越来越快。跟坐在旋转木马上一样，这个加速过程会产生把你向外推的效果。换句话说，当你面朝里坐着的时候，你会感觉越来越被压向座椅。这与你在汽车或火箭加速时经历的一样。因此，离心机可以用来测量模拟发射条件下你的反应。

离心机的转动速度可以让你体验4*g*~6*g*的加速度，每次训练都会短

于10分钟。训练的目的是让你感受进入轨道和返回地球时的加速度。

微重力

在发射、变轨和登陆时，你会经历加速。每次太空之旅，你总会在某个阶段经历微重力（失重）。如果是亚轨道飞行，失重仅仅出现在抛物线飞行的几分钟里。如果你前往一个绕地运动的太空旅馆，那么只要你在轨道上就会始终处于失重状态。[注]如果你前往月球或其他天体，你也会经历失重。失重听起来很刺激，但对人类来说极具破坏力。我们将在第6章和第7章中详细讨论失重带来的短期和长期的影响，这里，我仅对人在失重环境下的初始体验做些解释，因为你的行前训练会包括失重训练。

我们感知重力的器官——知道哪个方向是向下——位于我们的内耳。内耳中有一些细小的钙点，被称作耳石。它们躺在极细的毛发——纤毛上。正常情况下，耳石被重力向下拖拽，与纤毛相连的神经可以感知纤毛对耳石的反应。例如，当你的身体前倾时，耳石朝内耳的前部运动，带动纤毛向前弯曲。你的大脑将这解释为“我在向前倾斜”。

然而，在失重状态下，你的耳石不受重力拖拽，所以无法给大脑提供方向信息。这时，你不得不依靠你的眼睛。问题是在失重状态下，你不知道哪个方向是向下，所以你的眼睛也不能提供方向信息。即使贴着“此为向下”这样的标识，你的大脑还是试图从内耳获得指引，但内耳却不能提供有效信息。

在第一次经历微重力的人当中，大约有四分之三会出现定向障碍，这被称为太空适应综合征（Space Adaptation Syndrome）或太空病。如果你曾经晕过船，你会有个大致的概念。船在海上颠簸摇晃带来的影响跟微重力下的神经混乱基本相似。船的运动使你的大脑混乱，而你的反应跟在太空差不多：你会呕吐。实际上，游轮公司的工作人员在巡游的

第一晚会在游轮各处发放呕吐袋，因为在旅程初期，人人都有可能用得上。太空病的症状包括恶心、呕吐、极度头痛、嗜睡、定向障碍、出汗、食欲不振等。定向障碍可能会让你在不动的情况下也感觉天旋地转。好消息是，太空病通常是一次性的，且持续时间不超过三天。所以，我们现在来谈谈为适应失重状态你需要做哪些准备。

如果你对失重缺乏了解、体验和准备的话，太空旅行很可能会让你失望透顶。你可以借助药物来避免在短途飞行中患太空病。你在穿宇航服期间需要不间断给药[注]，但停药后，你还是会容易患上太空病。这时，大家可能会鼓励你挺过去。为了帮助你了解太空病（可能的话在进入太空之前亲身体验），你将在出发之前接受失重训练。

你将在一架喷气式飞机上接受失重训练，而这架飞机会像海豚在海上追逐船只一样沿着上下跳跃的路线飞行（见图1.9）。在此期间，你可能会经历太空病。在抛物线飞行阶段，你会处于失重状态。用于失重训练的飞机叫作“呕吐彗星”（Vomit Comet），在每次飞行训练中，“呕吐彗星”都要沿着上下弧线飞行多达30个来回。在单次来回里，失重状态持续15~30秒，之后飞行员将飞机拉起，飞机停止俯冲，开始水平飞行，然后上升，开始下一个来回。即便是这样短时间的失重也会导致许多人呕吐。在平飞和上升阶段，你将经历约2*g*的加速度。

地球上的失重训练也可以在水下或通过地上特殊悬吊来进行，训练的目的是让你学会在失重状态下进行各种操作。通常情况下，我们在水里会漂浮起来，但你可以系上重物来抵消水对你产生的浮力。有了这些配重且穿着密封的宇航服，你就能浮在某个给定的深度，既不会浮上去，也不会沉下来。这被称为中性浮力（neutral buoyancy），可以用来模拟太空的微重力环境。然而，当你在水下或地上穿着宇航服进行失重训练时，你需要贴着一张防吐皮肤贴。

低气压

你在太空可能会经历的一种突发情况是气压损失，这会减少空气中的氧气量，引起缺氧（即血液中氧气不足）。气压降低可能由不同的原因造成，包括空气系统硬件或软件故障、太空碎片击穿航天器、宇航服泄漏等。重要的是，你要知道缺氧的症状以及如何应对，以免招致致命的问题。

1970年，我在位于佛罗里达州彭萨科拉（Pensacola）的美国海军航空基地接受飞行培训，其中包括在低压舱进行的课程。你的缺氧训练可能会与我当时在低压舱里的课程相似。我们被安排在低压舱里，也就是一辆校车大小的房间，座椅朝里。每人都有一个氧气面罩，面前放着一张桌子，桌上放着一杯水。我们学习怎样戴上氧气面罩。确认每个人都戴好后，舱门关闭，房间的空气开始被抽出。房间逐渐变凉，桌上的玻璃杯开始出现气泡，气泡上升到水面，好像水沸腾了一样。这不是传统意义上的沸腾，而是随着房间里的气压降低，水里的空气不再受到周围的空气压缩，于是膨胀成气泡上浮，就像水开始沸腾，就像你打开了一罐啤酒或汽水后看到的那样。我们听从指示摘掉了面罩，这时呼吸变得困难起来，尤其是吸气时感到异样。我感觉气短并且开始咳嗽。平常很简单的事情，那会儿做起来都很困难，比如拍手。然后，我们按照指示再把面罩戴回去。有人已经昏过去了，是旁边的人帮他戴上的。这项实操训练让我们更好地了解缺氧，让我们在必要的时候能够有效应对。

如果你了解缺氧的症状，比如气短、出汗、呼吸急促、咳嗽、混乱、协调能力下降和皮肤颜色变化，那么在太空里出现这些症状的时候，你就能够做出快速反应：戴上氧气面罩，启动供氧设备，然后拉响警报。你的行前训练会包括针对各种突发情况的应急训练，这是其中一项。事实上，你会领教在太空里为什么要时刻保持警惕。

宇航服

到了某个时间点，你将会接触到宇航服。你会试穿一套，但这跟你

光顾最喜欢的裁缝店不同。在火箭发射、到空间站以外（舱外活动）、遭遇紧急情况、返回地球时，你都需要穿着宇航服。火箭发射和返回地球时身着的宇航服相对较轻，这样在必要时，宇航员能够在地球上行走。

即便是部分为舱外活动设计的宇航服都会更复杂一些，要求使用者接受更多训练。宇航服及配套的内衣是由功能不同的几层组成的。这些功能包括维持体温、保持正常呼吸所需的气压、阻挡太空辐射和太空高速粒子、去除来自身体和呼吸的湿气以及防火。还有，你每次穿宇航服都要穿纸尿裤，因为你可能要被圈在里面长达8个小时。宇航服烦琐而笨重，非常不舒服，但不穿不行。

你还需要了解宇航服的特殊外围设备。舱外宇航服有几十个重要的附件，比如通信设备、精密的空气过滤和供氧设备、把你与空间站和航天器拴在一起的连接装置（防止你飘走）、摄像头等等。在行前训练中，你将会学习怎样在正常和紧急条件下穿上宇航服以及怎样使用有关设备。

你在宇航服里呼吸的空气不同于航天器和空间站里的空气。除了氩气、氖气和氦气等痕量气体（trace gases）外，空间站和运载工具里的气体成分和气压与地球上的相同，也就是78%的氮气和21%的氧气。你在宇航服里呼吸的空气比你现在呼吸的空气要稀薄得多（压力较低），而且具有不同的化学成分。到目前为止，所有宇航服里的气压都很低，这是因为一个软质容器里的空气越多，这个容器（无论是气球还是宇航服）就会变得越硬（气球会越胀越大）。如果你把宇航服里的空气压力增加到100千帕（我们日常呼吸的气压）的话，宇航服会硬到你在里面根本无法动弹。你的手臂会支棱着，与身体形成直角，双腿站成V字形。除非有人帮你放气，否则你没法改变这个姿势。因此，宇航服内的气压是29.25千帕（接近正常气压的30%），且里面的气体是纯氧气。

高压力宇航服有段好玩的历史。1965年，苏联宇航员阿里克谢·列昂诺夫（Alexi Leonov）穿着初始气压为39.93千帕（接近正常气压的

40%）的宇航服，进行人类的首次太空行走。然而，随着空气被他的身体和太阳光加热，宇航服内的气压开始上升。如前文所说，宇航服变得硬挺，以至于他行走了12分钟后，没办法回到“上升2号”（Voshkod 2）宇宙飞船。倘若一直这样下去，他连地球都回不去。幸运的是，他可以给宇航服手动减压，减到他能挤进飞船为止。

从正常气压到宇航服气压的过渡可不是小事。不要以为你只要穿上宇航服，把正常的空气抽出去，再充进压强为29.25千帕的氧气就够了。这样做会造成与水肺潜水上升太快一样的结果。你血液中的空气会形成气泡（就像低压舱水杯里的空气），从而导致减压病（弯曲症）。这可能会引发各种疾病或导致死亡。因此，在穿上宇航服之前，你要经历一段减压期，你的身体将在这段时间里逐渐适应低气压。

如果宇航服能够在我们的正常气压下不膨胀变硬，那么现代宇航服的各种麻烦就基本上都解决了。这种宇航服的设计开发已经进行了很多年，基本原则是将最外层硬质化，这样气体便无法令最外层膨胀，而挑战在于软性连接点的设计。等到你进入太空的时候，可能已经有这种宇航服可用了，这会使行前训练和适应太空的过程变得容易很多。

太空飞行、航天器和外星表面模拟

升空之前，你还会参加大量模拟训练，差不多涉及太空经历的所有方面，不过可能不包括失重状态下的性行为。你会用到各种高科技设备，用于模拟发射车、登陆车、太空旅馆或其他空间站环境、载你前往月球或其他天体的航天器以及目的地登陆器。如果你要移居火星，那么你还会用到模拟火星居住地的设备。

在这些模拟器里，你会经历各种各样的日常情境和紧急情境。这样，你就会知道可能遇到哪些情况以及如何应对。例如，假设你的航天器被陨石击穿，造成空气泄漏，你该做什么？按照什么顺序做？你不但要知道该做什么，还要知道如何进行有效的沟通，如何与他人合作，如

何在容易诱发恐慌的情况下保持冷静。

如果你的目的地在绕地轨道之外，那么你需要在水下感受在目标天体上行走的感觉。在月球上跌倒和重新站起来，与在地球或其他目标天体上有很大不同。行前练习会让你的太空经历更称心如意。你甚至还会在模拟外星表面上行走。例如，美国国家航空航天局使用地球上的许多地点来模拟外星表面，比如南极洲、华盛顿州摩西湖市（Moses Lake）周边地区、亚利桑那州弗拉格斯塔夫市（Flagstaff）附近的黑点熔岩流（Black Point Lava Flow）、夏威夷群岛上的各种熔岩地形（模拟月球表面），还有加拿大努纳武特地区（Nunavut）的德文岛（Devon Island，格陵兰岛西海岸，用来模拟火星表面）。

你将会穿着适合前往目的地的宇航服练习如何在地球以外的地方进行各种操作。例如，你可能会沿着山脉或峡谷跋涉好几千米，练习驾驶月球车和洞穴探索，学习如何采集和携带目标天体的岩石和其他样品。

洗手间技能

这项技能在航天器中尤其有用，你必须学会如何使用太空洗手间。缺乏重力意味着尿液和粪便不会“掉下去”，因此，你要学习怎样用真空管小便。尿液会被真空管吸走，然后被处理成饮用水。同样，太空马桶会把你牢牢固定住并将粪便吸走，你要学习怎样在这样的马桶上排便。请记住，你上洗手间的隐私程度取决于你的目的地和你乘坐的航天器。

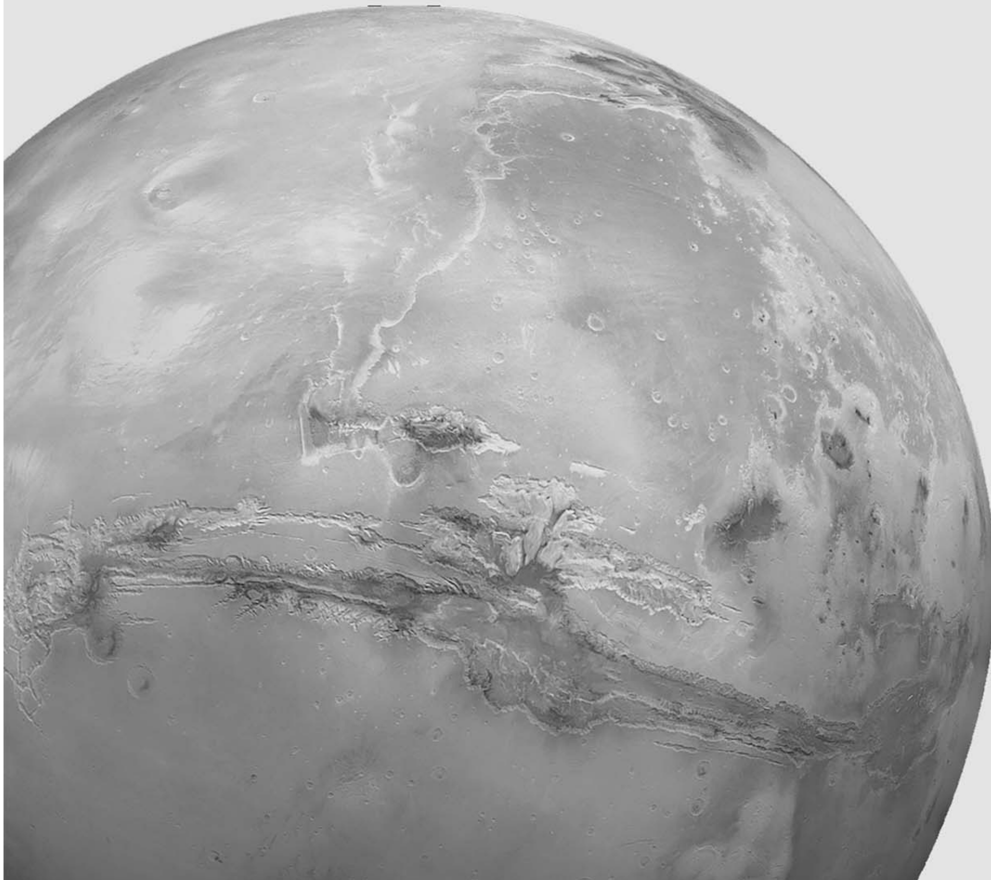
洗澡等其他基本的洗手间技能也跟在地球上完全不同。在微重力条件下，根本不可能形成淋浴用的水流，所以你得用毛巾清洁自己。这是你作为太空旅行者要做出的一点小牺牲。愿意冒险进入太空的人都热衷于探索，淋浴这种与普通旅行联系在一起的物质享受不在他们的优先考虑之列。

1. 即第2章讲到的小行星和彗星。
2. 这种说法不准确。汽车加速时，作用在你身上的力是向前而不是向后的。由于惯性，你的身体会后仰，挤压座椅靠背，所以感觉好像有一个向后的推力。
3. 根据加速度的计算公式a=(V2–V1)/(T2–T1)，这辆汽车用6秒从0千米/时加速到97千米/时（约26.94米/秒），套进公式a＝(26.94–0)/(6–0)，计算结果a = 4.49m/s^2，约等于0.458g。
4. 我们在第2章曾谈到，前往遥远天体可能要用到离心机，也就是我们可以通过围绕一个中心轴旋转来模拟重力环境。问题在于如果你与旋转轴的距离很短，那么你必须高速旋转才能取得正常重力的效果，而高速旋转本身就会让人感到恶心。因此，这个办法要想行得通，太空旅馆和运输工具的直径必须足够大，并且以很慢的速度旋转，这样你才不会感到恶心。这在未来或许能够实现。
5. 不间断给药的原因是如果宇航员在宇航服内呕吐，在失重环境下自由飘浮的呕吐物会导致宇航员窒息，危及生命。



第二部分

适应太空环境



第5章

发射！



发射进入太空将是你一生中最激动人心、大开眼界和惊心动魄的经历之一。你已经完成了大量的行前训练，每个步骤都反复演练多次，最后你发现，发射当天的准备工作竟然出奇地简单。发射前的那晚，你可能会与家人和朋友一起度过，共进一顿丰盛的晚餐。睡个好觉之后，你将与同行的太空旅行者一起吃一顿传统的发射前早餐。在乘车前往发射台的路上，你会再次见到家人和朋友，但出于安全原因，你不能与他们发生身体接触。所谓安全原因，就是即便在最理想的情况下，也要防止你的宇航服被弄坏。

你将穿着宇航服进入轨道。如果运载火箭出现空气泄漏，或是任何有害气体从燃料箱或其他地方进入火箭，你的宇航服将会保护你。发射和着陆时，你必须穿着宇航服，里面的气压基本相当于在9 000米高空飞行的喷气式飞机的内部气压。在航天器起飞和降落过程中，你所在舱

室的气压跟宇航服内的气压是相同的，所以宇航服不会受压膨胀。你穿着它行动的时候，感觉跟穿着日常的冬季服装差不多。

历史上，在发射升空和返回地球时，你穿的纸尿裤很少被用来接收粪便，因为大多数宇航员在穿上宇航服的前不久刚上过厕所。另外，少喝水也可以减少排尿，进而减少纸尿裤吸收的尿量。不管怎样，如今的技术已经十分先进，纸尿裤完全可以吸收多达2升的液体。

发射前你虽然穿上了宇航服，但这时硬件还没有装配齐全。有些装备相对易坏，越少使用，损坏的概率就越低。还有一些装备体积大且容易让你不舒服，比如把你固定在座椅上的安全带（可能还有一个应急降落伞）、靴子、手套和头盔。这些装备会在你进入航天器的前一刻才穿戴上身。

亚轨道飞行

假设你采用第2章描述的母机挂载方式旅行，那么你乘坐的航天飞机会在你登机前就已经与母机连接起来。请记住，母机承担载荷。与绕地轨道和轨道外旅行者穿着的宇航服相比，亚轨道飞行宇航服的附件要简单得多，但你在登机前可能仍然需要穿戴好最后的装备，比如头盔、通信设备，可能还有备用氧气瓶。地勤人员会帮助你完成这些步骤。

失重是亚轨道飞行的一个主要特征，所以你的座椅设置跟普通飞机一样，允许你在外太空离开座椅，在机舱里飘浮。但是，这些座椅比普通座椅更结实，以便在升空和返回的加速过程中平稳地支撑你的整个身体——从头到脚。因此，把你固定在座位上的安全带可能与军事飞行员的安全带差不多：它会系住双肩，而汽车安全带只系住单肩。航天飞机上的应急弹射座椅使用起来会稍微复杂些，因为你还要绑上约束带，使你的腿紧紧地贴靠在座椅上，以备弹射。

地勤人员会帮你坐进座椅并系好安全带，然后建立系统连接。他们

会检查与你连接的所有系统，包括通信、供氧、液体摄入系统，当然还有你的安全带。每个乘员都将受到同等重视。地勤人员离开时会关上舱门，从这以后就没有空乘为你服务了。

随后，发动机的轰鸣声将充斥机舱。你可以选择收听地面控制（负责指挥母机在地面上的行动）与飞行控制（负责控制飞行的各个方面，以及指挥母机飞行员、航天飞机飞行员和空中交通）之间的无线电对话。飞行控制可以保证不会有任何未经授权的飞行器出现在你的附近。

起飞过程感觉像普通飞机起飞的高功率版本。一架追逐机将会与你一同起飞。追逐机飞行员的工作是关注由母机挂载的航天飞机在升空过程中是否有任何问题或出现问题的迹象，比如燃料泄漏、航天飞机或母机受损以及不稳定状况（比如振动）。

如果一切顺利，在追逐机的陪伴下，母机将上升到其能力所及的最大高度。当母机与航天飞机完成了内部系统检查，追逐机飞行员完成了最后一次目视检查，地面各相关方也给予了批准之后，航天飞机将会突然脱离母机。几秒钟后，航天飞机后部的火箭将点火，产生的推力会让你感觉被推向座椅靠背。航天飞机向上斜飞，载着你飞向卡门线。

进入轨道

正如我们在第1章谈到的，进入轨道空间站和轨道外飞行都需要先进入空间站下方的初始轨道。你离开朋友和家人，乘坐大巴前往发射台。下车后，直升梯或起重机会把你送到白房间（如此命名是因为传统上它喷着白漆）。在那里，你将宇航服穿戴整齐。

你在白房间里穿上的设备会让你彻底改头换面。你之前穿好的宇航服将装配上各种电子设备、备用氧气罐、饮用水。根据具体的急救技术，你可能还要配上一个降落伞和救生设备。安全带会绕在宇航服上，把你牢牢困住。你将戴上通信帽组件（包括耳机和麦克风）。你还要戴

上手套，穿上靴子，并将两者与宇航服连接起来。最后，你会套上头盔。头盔很可能有一个伸缩式遮光板，在不需要宇航服完全密闭的时候，你可以把它推上去。

你将乘坐一艘飞船（航天飞机比较合理）进入太空，并由垂直竖在发射台上的火箭运载升空。穿好宇航服之后，你将进入航天器，坐到座椅上。支持人员将把你连接到机载通信、监控和氧气系统中。在确保所有系统运转正常之后，支持人员将会离开，然后关闭舱门。尽管这个过程你已经演练过好几次，但忙碌的场景和火箭的振动会让你知道，这次可是动真格的。座椅是水平躺卧的，所以你坐上去之后，腿和脚位于躯干的上方。正因如此，在发射过程中，你会感到被向下推向座椅靠背。通常，在发射前，你要被束缚在座椅上大约两个小时。

正式的发射从倒计时开始。美国国家航空航天局历来用字母T来代表计划发射时间，这就是为什么你会听到“T减10、9、8……”。你的运载工具可能会用到这个术语，也可能不会，但几乎可以肯定的是，发射之前你会听到：“10、9、8、7、6、5、4、3、2、1，发射！”在倒计时期间，火箭发动机已经点火。当火箭推力达到要求时，把火箭固定在发射台上的夹具就会松开。此时，你很可能会感到剧烈的振动。

从发射到进入轨道的过程中，你会有很多感受。火箭发射时，你就会感到振动，而剧烈程度取决于运载火箭的类型。据说，液体火箭比固体火箭让人感觉更平稳。发射后几秒之内，你会感觉被大力推向座椅靠背，也就是第2章所描述的火箭加速产生的效果。这是一次生命之旅。对于多级火箭，在抛弃已用部件和启动下一级火箭时，你会感觉到颠簸，而到底要颠簸几次，这取决于火箭的级数。发射后10分钟内，火箭将熄火，你将进入近地轨道。如果一切顺利，火箭推进器将在短短几分钟内点火，推动飞船飞向更高处的空间站。这要么是你的终点，要么是你在太空的第一个中途停泊点。进入近地轨道5小时后，你将抵达空间站。如第2章所说，如果第一次进入轨道时出现问题，那么你可能需要多达两天的时间才能到达。

第6章

最初几天的调整



虽然人类没有进化出在太空生活的能力，但人体在几个星期或几个月里适应微重力和高辐射环境的能力依然十分惊人。这种适应从你越过卡门线、进入近地轨道时便已开始，并将一直持续到你进入空间站。本章将探讨各种适应过程。

视觉和运动技能

忽略航天器进入更高轨道或离开绕地轨道时的短暂加速，你在太空旅行中将一直处于失重状态。你知道这是什么样的感受，因为你已经接受过失重训练（第4章讨论过）。许多太空旅行者会经历各种与内耳平衡信息缺失相关的神经系统症状。除了太空病，这些症状还包括头晕、眩晕（旋转的感觉）以及快速且剧烈的眼球运动。即便在这些症状消失

后，大脑对微重力的适应也会反映在各种生理变化和心理变化中。

你可能还需要重新学习一些精巧的运动技能，比如旋转门把手和扳动开关，即便你在水下训练期间已经多次练习。太空旅行公司会优先考虑太空旅行者与地球的联络问题，让你跟朋友和家人能够保持密切联系，但在很长一段时间里，你都没法发推特、发博客以及从事其他与计算机相关的活动，因为这些都需要你能够灵活运用你的手和手指。

在太空旅行初期，你可能会出现各种神经系统问题，而其中最令人困惑的也许是无法判断身体各部分之间以及你与周围物体的相对位置。如果方便的话，你可以现在就尝试做下面的动作：从身体两侧沿水平方向伸开手臂，闭上眼睛，然后分别用两只手的食指摸鼻子。除非你之前喝了很多酒，否则这应该没什么困难的，因为你“知道”手指与鼻子的相对位置。这种能力以及准确移动身体不同部位的能力被称为本体感觉。这里提到喝酒，是因为酗酒会削弱本体感觉。正因如此，警察如果怀疑司机酒驾，经常会让司机做上面那个动作，或者让司机走一条直线。

进入轨道后，你开始感受到失重，本体感觉可能会暂时受到影响。当你伸手拿东西的时候，它可能比你想象的更近或更远。如果你的手臂伸得过长，你会捅进去；可要是伸得太短，你可能会碰不到。这种情况会出现在你要同时感知两个身体部位的时候，比如脱靴子；也会出现在你触碰物体的时候，比如扳动开关。

在太空旅行初期，你必须要适应的是判断用多大的力来移动物体。如你所知，你和你在轨道上接触的一切物体都处于失重状态，但所有物体仍然有质量，这些我们在第1章里谈到过。即使在失重状态下，你也不可能举起一个装满208升水的圆桶[注]，然后拿它当羽毛一样摆弄着玩。相反，想要移动一个物体，你必须对它施加一个力。与在地球上进行类似行为不同，在太空里，一旦你让一个物体向上移动，它就会一直移动下去，而不会在重力的作用下“落”回去。即使明白这个道理，你一开始可能还是没法准确地移动物体。实际上，你需要练习几个小时才能自如地抓取和移动物体。

体液重新分布

人体需要适应微重力，但进化已经使人体习惯于利用重力。具体来说，人站着或坐着的时候，血液离开心脏向下流到腿部的过程便得益于重力。有了重力，心脏就不必用同样的力量向所有方向推动血液，从而减轻了心脏的负担。在太空的失重环境里，这份向下的引力并不存在，所以腿部的血流量会变小。然而，心脏并没有收到相关信息，所以不会提高跳动速度和力度来推动血液下行，腿部供血不足的情况也就得不到改善。由于腿部血流量变小，你的腿会越来越细。返回地球之后，你的腿会恢复到正常的粗细和结构。

当然，本应该流到腿部的血液仍然还在你的身体里，但却集中在你的头部、手臂和躯干，使这些部位迅速肿胀起来。你的脸看起来会是浮肿的，这是大多数宇航员在执行任务初期不肯拍照片的原因之一。[注]相关的体征和症状包括鼻腔充血加重、严重头痛、皮肤变油和颈静脉肿胀。

这些流进脑部的额外血液可能会造成严重伤害。为避免伤害，大脑会立刻向肾脏和相关器官发送激素信号，要求它们清除体内多余的液体，所以你的小便次数会增多，直到大脑感知到血量已恢复正常。循环系统形成新的平衡还会引起血压下降，这在理论上是件好事，但请记住，如果需要突然从事重体力劳动，你可能会出现心跳乏力、暂时性头晕、昏迷以及视力模糊的情况。等到心跳速度和强度恢复，心脏能够向细胞充分供氧的时候，这些问题就会消失。

营养和消化

在地球上，除非消化系统出现问题，否则我们通常把消化食物看作理所当然的事情。消化其实是一个复杂的过程，从我们吃东西到把食物中不需要的成分排出体外，这中间会经历许多步骤，耗费几个小时。进

化已使人体适应了地球重力，所以体液平衡、小肠内的细菌以及正常的运动能够使这一过程顺利完成。然而，在微重力环境下，这些条件几乎全都发生了变化，所以你的饮食和消化会受到影响。

美食是人生一大乐趣，但却是你进入太空后不得不失去的一大乐趣。从进入微重力环境的那一刻起，你就可能已经出现了消化问题。肠道在进入太空的第一天便停止工作的情况并不罕见。这就是所谓的肠梗阻，其病因尚不完全清楚，但微重力的作用显然是多重的，比如微重力会减小食物的重力，影响肠道内食物的正常流动，改变肠道内的细菌浓度，削弱肠道蠕动（推动食物通过肠道的肌肉活动）。肠道停摆也会发生在地球上，比如许多外科手术也会引起肠梗阻。

进入太空之后，如果要进食，你的消化道至少得有一部分功能可以正常运行。无法消化食物的后果是你无法吸收营养。此外，肠道功能失常可能会引起呕吐，呕吐物要是被吸入还会造成窒息。好在对于训练有素的观察者来说，很容易通过听肠鸣音来判断是否出现了肠梗阻。与其到时候吃苦头，不如先做检查。通常情况下，进入微重力环境48小时后，你的消化系统才会开始工作，所以请耐心一些。人为缩短这个过程并不是一个好主意，因为服用泻药会导致腹泻，你可不想在太空里总跑厕所，对吧？在这个段时间里，就算不吃固体食物，你也一定要喝水。

在做太空餐饮计划的时候，你有多种选项。即使在今天，宇航员也有400多种食物和饮料可供选择。不过，你或许会发现，在地球上很好吃的食物拿到太空去吃会变得没有滋味，所以太空麦当劳餐厅必须调整菜单，多放辣椒才行。

你在地球和太空里的热量需求基本相同。即使最初的消化问题消失了，大多数宇航员的实际摄入量都小于应摄入量。这种情况日积月累，会使执行长期太空任务的宇航员出现极其严重的问题。造成食欲减退的原因有三个：一是食物味道过于清淡；二是消化时间变长，这会延长人的饱腹感；三是本章前面谈到的体液重新分布会让人很难享受进食的过程。

在太空里，你如果跟随直觉而减少饮食，这会带来很多问题。营养不足会导致各种疾病和疲弱，包括骨质流失、体重下降、肌肉损失、维生素和矿物质缺乏等等。营养不良还会破坏你的旅行感受和返航后的适应过程。第10章会详细讨论返航后的调整问题。我们正在研究各类有助于维持健康食欲的医疗干预办法，而你可以做的是多准备些更辣的食物来刺激食欲。

过去，宇航员在太空里想喝咖啡或摄入其他饮料的话，需要用吸管从密封的软袋里吸取。然而实际上，我们在2013年设计出一款特殊的水杯，利用了微重力条件下完全违反直觉的流体运动规律，让你不但能品尝饮料，还可以闻到饮料的香味。这款杯子的杯口不是正圆形，而是有一侧的边缘呈V字形。饮料被缓缓地喷入杯中[注]，贴在杯子的一侧。除非被外力强行弄出来，否则饮料会一直留在杯子里，聚在一起。请记住，在微重力条件下没有“向下”，所以随你怎样晃动杯子，里面的饮料还是会留在原处。喝饮料的秘诀是，把嘴唇放到杯口V字形的那边，然后吸。跟真空吸尘器的效果一样，这个动作会产生局部真空，让饮料向你的嘴里流，这样你就能喝到了。这是常识、直觉和经验在太空失效的诸多例子之一。

增高

如果你曾经希望自己长得更高些，那么太空旅行会帮到你，至少暂时有所帮助。骨骼维持身体的整体形状，而骨骼之间的连接使你身手灵活。从头部到臀部的这段身体大部分都很灵活，因为脊柱由33块脊椎骨组成，其中24块两两之间还有软骨，并由肌肉、韧带和肌腱连接在一起。（其他9块结成一体。[注]）肌肉使单个脊椎骨能够前后左右旋转，让你可以前后弯曲和左右扭动。在微重力条件下，你的脊柱不再受到重力的压迫，所以在进入太空的最初几天里，由肌肉、韧带和肌腱组成的支撑系统会解压缩，从而将背部拉长多达5厘米。事实上，宇航员杰里·

利宁杰（Jerry Linenger）报告说他在两天里就长高了5厘米！

还有另一种方式可以让你增高。今晚躺在床上的时候，请想想你的脚会指向哪里？你会发现，你的双脚并没有像白天的时候指向与腿垂直的方向，而是指向头部的反方向，与腿差不多在一条水平线上。在微重力条件下，你的双脚会始终自然放平。这就是所谓的垂足姿势，长时间保持会造成腿部肌肉损失。好消息是，骑单车和跑步都可以让你以正常足位运动，这有助于减缓肌肉损失。所有空间站都有此类健身器材，这对宇航员保持健康非常重要。因此，所有未来的太空场所以及载你前往月球、火星和其他目标天体的航天器里都会有各类锻炼器械。

---

1. 208升是美国包装圆桶的一种常见规格。
2. 当然，另一个主要原因是很多宇航员患上了太空病。
3. 由于失重，在太空里，我们如果像在地球上那样倒水，水是倒不进杯里的，必须靠挤或喷才可以。
4. 这种说法不准确，其余的9块骨头并非结成一体，而是形成骶骨和尾骨两部分。

第7章

长期生理调整



为了帮助我们理解长期太空飞行对人体的影响，2015年3月27日，美国宇航员斯科特·凯利（Scott Kelly）和俄罗斯宇航员米哈伊尔·科尔尼延科（Mikhail Korniyenko）进入国际空间站，开始了为期一年的太空生活，并在2016年3月1日返回地球。斯科特和弟弟马克·凯利（Mark Kelly）是同卵双胞胎。马克的妻子、美国前众议员加比·吉佛兹（Gabby Giffords）也去过国际空间站，只是没有像斯科特停留那么久。从医学角度看，斯科特在国际空间站生活的一年尤其有意义。医生不仅能够看到他在一年里发生的变化，还能通过对两兄弟的比较，寻找在此期间可能发生在他身上的生理和基因变化。这项工作目前仍在进行中。

让身体适应微重力

一旦进入微重力环境，你的身体将经历几次长期调整。回到地球后，这些变化（比如骨骼和肌肉损失）可能给你的生活造成严重的影响。例如，骨质疏松会使你更容易骨折，肌肉损失会使你在刚回到地球时很难从事重体力活动，因为你可能会受伤和摔倒。因此，在太空生活中，适当的锻炼和合理的饮食十分必要，有助于减轻微重力环境对人体的影响。

骨骼

我们之所以能维持身体的整体形状，是因为我们有骨骼结构。微重力造成的一个主要问题就是骨骼退化和骨质流失，而营养不良会使这个问题变得更加严重。例如，在维持骨骼健康必需的维生素D3摄入不足的情况下，骨质流失速度会加快。此外，我们之所以能够运动，是因为骨骼可以作为肌肉的杠杆和支点。人体的坚硬部件（骨骼）与运动引擎（肌肉）结合起来，使我们在改变身体姿势和身体位置的时候不会损伤胸腔内所有柔软的部件[注]。

除了支撑身体和辅助运动之外，人的骨骼还有其他作用。有的骨骼由坚硬的物质组成，可以撑起身体的形状，但大多数骨骼内部都有空腔，里面充满了海绵状的骨髓——制造各类血液细胞的组织。[注]在太空中，骨骼会出现重大变化。骨质流失的两种主要化学成分是磷酸钙和钙元素，前者使骨骼具有硬度，后者贮存在周身的骨骼里以备不时之需。例如，耳朵的前庭器官耳石的成分就是碳酸钙。骨骼矿物质的流失（骨质疏松）会带来双重打击：不仅会使骨骼变得更脆，还会令身体的其他部分得不到所需的含钙化合物。研究骨骼矿物质流失的医生和科学家能够确认的一点是，这种流失在一定程度上与你在其他行星上的体重减轻和太空中的失重状态有关系。在这两种情况下，你的身体不需要有像在地球上那样坚固的支撑结构，即可行动自如。

有趣的是，这些改变主要集中在腿部、骨盆和腰部的骨骼。这些骨

骼所流失的质量是上身骨质流失质量的20倍。人体骨骼系统最脆弱的部分是股骨的上端（股骨是臀部和膝盖之间的长条形腿骨），在太空旅行初期每个月最多流失1.6%的矿物质。骨盆骨骼和腰部骨骼的流失速度分别是每个月大约1.4%和1.1%。全身平均的流失速度是每个月0.35%。换句话说，在进入太空的最初几个月里，每4天你就会损失大约0.002磅（约0.9克）的骨骼矿物质。这远远快于地球上绝经女性的骨质流失速度。

幸运的是，这些数字只是进入太空初期的骨质流失速度，你不会因为骨质不停流失而最终坍成一团肉泥。我们现在还不能确定，斯科特·凯利和米哈伊尔·科尔尼延科在太空停留的时间是否足够让他们的骨骼矿物质密度达到一个最终的“稳定状态”。我们只能从他们的经历推断，如果你在太空停留的时间足够长，那么你的骨骼钙质密度会稳定在一个比现在低很多的水平上。

骨骼矿物质流失的后果极其严重。最危险的是骨折，可能是意外造成的，也可能是因为骨骼受到了外力——同样的力在地球上一般不会导致骨折。换句话说，如果你经过6个月的航行到达了火星，想举起一个在火星上重22千克的东西，那你会有骨折的风险，而当初在地球上，同一块骨骼完全能承受这个重量。

太空医学还没有碰到过骨折问题，所以医生尚不清楚如何在微重力和其他低重力条件下妥善接骨。在太空里，断骨愈合通常比在地球上需要更长的时间，而且我们认为，在太空里折断和愈合的骨骼比在地球上愈合的骨骼脆弱得多。你可能会问：为什么不给骨折的太空旅行者吃富含钙质的食物或补充剂来帮助愈合呢？这么做乍看起来是合理的，但实际上不仅解决不了问题，还可能带来新问题。

人体如此复杂，以至于一个变化往往会引起一系列其他变化。在太空旅行中，你体内的钙会不断从骨骼中流失，所以你的血液和尿液会一直富含钙基矿物。这种含钙量过高的尿液被称为高钙尿症。如果你因为骨折而摄入钙，那么在骨骼愈合的过程中，你无法将摄入的钙全部吸

收。大部分钙还是会流失掉，从而加剧你的高钙尿症，直接导致肾结石这样的严重后果。肾结石往往会引起剧痛，还可能伴有恶心和呕吐。在地球上，肾结石经常不必通过外科手术干预就可以排出体外。在太空中是否也是这样，还有待观察。大量喝水对排出肾结石有好处，但太空中不会有那么多水供你饮用。

太空医学界认为，太空中的骨质流失会增加你老年时患骨质疏松的概率。幸运的是，人们正在做大量的工作，旨在防止和减轻这种不明显却很危险的疾病。你应该了解的是，太空旅行会使你患病的风险变高。

牙齿

在地球上，人的牙齿腐蚀得比较慢，而一旦发现蛀牙——无论是因为牙痛还是通过牙科检查发现的，补牙的过程比较快，也不会让人感到十分痛苦，只是费用有点高。吃剩饭剩菜会使口腔滋生细菌。此外，口腔分泌的酸会破坏牙齿的外保护层。理想的情况是，我们第一时间把流失的矿物质归还给牙齿。如果做不到这一点，细菌就会侵入，从而形成蛀牙。氟化物可以增强牙齿的硬度和耐腐蚀性。

在太空中，牙齿腐蚀的风险会增加，因为在微重力条件下，致龋细菌的繁殖速度是地球上的40~50倍。1978年，在“礼炮6号”空间站停留期间，苏联宇航员尤里·罗曼年科（Yuri Romanenko）出现了一颗蛀牙，造成牙神经外露。他不得不忍受两周的剧痛，直到任务结束。除了自然蛀牙外，还有很多其他事情也会损坏牙齿，比如牙齿被微重力环境里的大量飘浮物撞击、牙齿的自然磨损以及吃东西时崩断牙齿。

我们已经对太空牙齿护理做了很多思考。人类在太空以及长期孤立的地球环境（比如潜艇）中可能出现的牙科问题，促使我们不断开发适用于这些环境的牙齿预防和修护措施。这些措施旨在减轻痛苦，防止继发性感染，以及让牙齿在接受专业牙科治疗之前得到保护。

肌肉

骨骼强度减弱的同时，骨骼肌也在萎缩，同时肌纤维的类型也会发生转化。肌肉萎缩很好理解，基本上就是遵循“用进废退”的道理。肌肉萎缩通常在你进入微重力状态的5天后开始出现。

对肌纤维类型的转化，我要多说两句。人的肌肉由两种肌纤维组成。被称为慢肌或红肌的肌纤维含有丰富的血液，能够维持长时间的能量供给，所以不易疲劳。肌肉能量通常储存在被称作三磷酸腺苷（ATP）的分子中。慢肌使你有能力进行长跑、骑自行车、游泳等有氧运动。在太空中，由于慢肌处于闲置状态，所以你会频繁感到慢肌疼痛。相当多的太空旅行者因此出现过背部疼痛。

另一种肌纤维被称为快肌或白肌，它们没有大量的能量库存，也无法迅速恢复能量。这种肌纤维在你从事短促和爆发性活动时提供力量，比如短跑或提起重物。对宇航员的研究揭示，在微重力环境下，红肌会转化为白肌。因此，如果在途中不进行适应性训练，你会发现你在其他世界行走、攀爬和跑步的持久力会远远低于你在地球上的水平。虽然白肌的增加会提高你的举升力以及其他力量，但这种积极影响会因肌肉总量损失而衰减。[注]

营养不良可能是造成肌肉萎缩的原因之一。我们目前仍在研究克服肌肉萎缩的办法以及多种医疗干预的效果。由于失去有氧运动（耐力运动）所需的慢肌，所以你可能会希望在太空中使用跑步机、划船机、动感单车等有氧运动器械，以维持慢肌的数量。然而，到目前为止，实验结果显示，在太空中使用这些器械对慢肌向快肌转化的抑制作用不大，在减慢肌肉萎缩速度上也没什么效果。

谈到肌肉，如果有人在太空变成斗鸡眼，你不要感到意外。[注]这种常见的现象被称作内斜视，甚至在你回到地球之后还会持续一段时间。

太空医药

太空医药研究现在已经成为一个全职行业。伴随着生理变化（前文谈到了一些），人在太空中对药物的反应也会发生变化。微重力使人体吸收药物的速度不同于在地球上的吸收速度。因此，所有药物必须重新评估剂量才能在太空服用。这是新兴的太空医学领域正在研究的诸多问题之一。由于处方药和非处方药种类繁多，而且先于你进入太空的人相对较少，所以你在太空中生病的时候，可能不得不服用一些微重力下剂量尚不明确的药物。你对这些药物的反应是对医学知识体系的一份贡献，这样在你之后进入太空的人会对药物剂量有更清楚的认识。

许多药物在太空中失去效力的速度都比在地球上快得多，药物剂量的调整也因此变得更加复杂。换句话说，在太空中，药物会在标注的过期日之前失效。造成这种情况最可能的原因是辐射改变了药物的化学组成，但这种说法还有待确认。我们在第1章里谈到，这种辐射通常无法通过地球的大气层到达地球表面。由于每种药物的独特化学组成决定了它对人体产生的效果，所以化学成分的改变会导致药物失效。正因如此，药物剂量必须根据药物在太空中的药效长度进行修正。这是未来几年太空医学领域将会得到显著发展的诸多方面之一。

昼夜交替和昼夜节律

我们的身体受控于体内“嘀嗒嘀嗒”的生物钟。例如，大脑里的振荡器可以产生不同频率的脑波，帮助大脑组织和调节人体活动。脑波有五种，分别为α、β、γ、δ和θ波。许多人体活动，比如入睡和醒来，新陈代谢和体温变化，被称为昼夜节律（circadian rythms，其中circadian的本意是“大约1天”），由位于大脑视交叉上核（suprachiasmatic nucleus）的生物钟调节。人体生物钟以24小时为一个周期，规定你什么时候感到需要睡觉、醒来、吃饭和进行其他持续时间较长的活动。

人体要在一天有24个小时的地球上正常运行，需要每天重置生物钟。生物钟非常靠近视神经，所以光线变化是重置生物钟的最好办法。

例如，清晨的阳光可以帮助你重置生物钟。光线会抑制大脑分泌诱导睡眠的化学物质，比如褪黑素。实际上，在该出太阳却没出太阳的早晨，你往往起不来床，这是因为没有光线帮你重置生物钟。如果你生活在一个昼夜周期远远长于或短于24小时的环境里，那么你的生物钟无法在每天“早上”重新同步，这会导致严重的生理和情绪问题。

每天重置生物钟是必要的。在没有昼夜更替和气候循环的地方，比如潜艇、自然光照不进去的水面战舰以及极昼和极夜时的北极圈和南极圈内，我们需要提供人工照明和气候循环。

除火星以外，其他天体的昼夜交替周期与地球相去甚远，详见表7.1。例如，前文提到过近地轨道的昼夜交替周期大约是90分钟。在此期间，你将经历45分钟的白昼和酷热，紧接着是45分钟的黑夜和严寒。（虽然航天器外每90分钟就会发生一次剧烈的温度变化，但我们能够很好地控制航天器内的温度。）如果你必须在这样频繁的昼夜交替中生活和休息，那你的身体会出现机能紊乱，你的情绪会变得十分糟糕。因此，近地轨道上的生活要靠飞船或空间站的人工昼夜循环系统来调节。

表7.1 邻近天体一个昼夜循环的长度

天体	昼夜长度
月球	29.5 个地球日
火星	24 小时 40 分钟
火卫一	7 小时 39 分钟
火卫二	30 小时 20 分钟
典型的彗星	几小时
小行星爱神星	5 小时 16 分钟
近地轨道天体	90 分钟

星际空间里没有自然的昼夜循环。当你向舷窗外看去，飞船周遭的

天空永远是一片漆黑，因为太空里几乎没有任何气体，所以无法像地球大气层那样散射太阳光，照亮天空。同理，在火星以外的任何天体上，即便太阳已经“升起”，你也看不到地球上那样明亮的天空。因此，我们必须对火星以外的太空居住地提供对人类有益的24小时昼夜循环。在离开地月系统的太空旅行中，你的飞船也将预设24小时的昼夜和温度循环。

研究太空医学的医生和心理学家已经注意到，就像在南极和潜艇中生活过的人一样，很多到过太空的人都抱怨说，睡眠干扰和时间感知障碍让他们感到难受。让我们看看睡眠这个关键问题。

睡眠干扰

噪声

噪声和振动常常会破坏睡眠。噪声本质上就是除了音量、音高和声音长短之外基本不携带任何其他信息的声音。火箭发射时发出的咆哮声告诉你，飞船正在变速前进。但除此之外，火箭发射的声音通常来说只是一种噪声而已。有趣的是，通常被认为是噪声的声音可能非常受欢迎。想象一下你正在飞往月球的途中，火箭即将点火，准备让你的飞船减速进入月球轨道，而在此之前你被告知火箭点火可能会出问题。如果此时传来发动机低沉的轰鸣声，你会感觉那是天籁之音，比任何声音都悦耳动听。

我们可以通过很多方法判断噪声（也就是几乎没有信息内容的声音）：

- 频率或音高（例如，一声尖叫与一声低吼相对比）。
- 响度。

- 连续的还是间歇性的。
- 意料之中的还是意料之外的。
- 必要的还是不必要的。
- 是否与维持生命的活动有关。
- 是否每个人都认为这是噪声。

最后这个方法指的是人的主观感受，比如对一段音乐好听还是难听的判断。对听众来说，不爱听的音乐就是“噪声”。

声音在我们的生活中十分重要，我们用分贝（db）这个单位将声音的强度量化，衡量的是经过某一点的声能。这里，我们需要了解一些数值，见表7.2。

表7.2 不同噪声的效果

噪声大小（分贝）	对应的典型例子或引起的后果
20	低语
60	常见的饭馆噪声
80	站在州际立交桥上听到的噪声
140	引起身体疼痛
200	引起死亡

让我们看看巨大噪声产生的后果。假如你站在一枚火箭15米以外的地方，那么火箭从地球升空时，你会听到超过200分贝的噪声。你从上面的清单中可以知道，这是致命的。我们认为，如果你长期处于60分贝以上的环境里，你的听力会受损，而85分贝以上的持续噪声会导致听力丧失。公认不会影响睡眠的噪声水平是35分贝，而国际空间站的噪声水平通常高于这个值，也高于一般航天器50分贝的预设上限。为了避免持续噪声的影响，宇航员通常会戴上耳塞或降噪耳机，这可以有效减缓噪

声引起的身体和精神紧张。事实上，俄罗斯“和平号”空间站的噪声太大，以至于一些宇航员在上面待了几个月之后，听力遭到了永久性损伤。

噪声常常使人分心，严重影响我们的生活质量。嘈杂的工作环境往往会影响工作表现，而在安静的环境里，我们能够把工作完成得更好。噪声还会让人更容易疲劳，降低工作效率，使人精神不振，消极怠工。如果你的睡眠环境很嘈杂，那你的睡眠时间和质量都会打折扣。在外太空进行生死攸关的活动时，如果噪声使你无法听清指令，那问题显然十分严重。

你在太空的大部分时间里都将处于滑行状态（即没有火箭推动），但即便如此，你也会听到各种各样的噪声。是什么让航天器这么嘈杂呢？风扇、泵、马达、水管、人们四处移动和说话、变压器、电子产品、开关电动机械阀门等发出的声音，当然还有耳机里漏出来的音乐声，等等。

减轻背景噪声影响的方法之一是降低舱内气压。气压越低，声音就越难传播。问题是，气压越低，你说的话就越难被人听到。因此，你必须大声说话。如果需要经常说话，那你很可能会喉咙痛。我们还可以用软耳塞或降噪耳机来缓解噪声对人的生理和心理影响。这两样东西哪里都找得到，也便于带上航天器。这些太空降噪技术的问题在于，它们会使你与周围的人更加疏离。我们在第8章中会谈到，心理问题可不是一件好事。令人欣慰的是，我们现在有可能用上带麦克风的无线降噪耳机，这样既能阻挡噪声，又能舒服地与人交谈。

振动

噪声可以定义为耳朵探测到的、不受欢迎的空气振动，而在太空里，你周围的固体和液体如果振动起来，也一样不受欢迎。跟声音一样，振动也有很多量度，包括：

- 频率。
- 强度。
- 时长。
- 连续的，时断时续的（间隔长度固定），还是零星的。
- 方向，比如上下、扭曲的或变化的。

航天器在离开地球时会剧烈振动。事实上，这是你在太空中经历的最强烈的振动。然而，即使在火箭发动机熄火的情况下，还有许多其他会产生振动和噪声的事物。

不同频率的振动会给我们造成不同的影响。有些频率令你感觉皮肤抖动，而其他频率——通常是较低的频率，会令你感到五脏六腑都在跳来跳去。表7.3列出影响人体的振动频率。

表7.3 对人体不同部位产生影响的振动频率

身体部位	共振频率（赫兹）
全身（挺直站立）	6 及 11~12
全身（放松站立）	4~5
全身（横向）	2
全身(坐着)	5~6
头部	20~30
头部（坐着）	2~8
眼球	40~60
鼓膜	1 000
肩部/头部（站着）	5 及 12
肩部/头部（坐着）	4~5
肩部/头部，横肋	2~3
主躯干	3~5

身体部位	共振频率（赫兹）
肩部（站着）	4~6
肩部（坐着）	4
四肢运动	3~4
手	1~3
胸部	3.5
胸壁	60
前胸	7~11
脊柱	8
腹部包块	4~8
腹壁	5~8
腹腔脏器	3~3.5
骨盆部位（半仰卧）	8
臀部（站着）	4
臀部（坐着）	2~8
脚（坐着）	>10

参考来源：《美国国家航空航天局人与系统集成标准》（NASA Man-Systems Integration Standards）图5.5.2.3.1－1

振动如果进入人体会引起身体机能问题和生理问题。机能问题会干扰人的行为能力，表7.4列出了与此相关的振动频率。

表7.4 受振动影响的行为能力

受影响的行为能力	振动频率的范围（赫兹）
平衡	30~300
触觉	30~300
说话	1~20
头部运动	6~8
阅读文本	1~50
跟踪	1~30
读数错误（仪器）	5.6~11.2
人工跟踪	3~8
深度知觉	25~40，60~140
抓握	200~240
视觉任务	9~50

参考来源：《美国国家航空航天局人与系统集成标准》图5.5.2.3.2－1

这些问题涉及大脑与身体的相互作用机制，而振动导致的各种身体不适会使这个机制变得复杂。表7.5列出了振动导致的各种生理问题。

在微重力环境下，当你被捆绑固定住的时候，或许可以感受一下周围的环境，这时你更有可能出现下述症状。你可以通过自由飘浮（如果可能的话）来降低危险和缓解不适。

表7.5 振动导致的生理问题

症状	振动的频率区间（赫兹）
运动病	0.1~0.63
腹痛	3~10
胸痛	3~9
一般性不适	1~50
骨骼或肌肉不适	3~8
头痛	13~20
下颌症状（牙关紧闭、牙齿打战）	6~8
影响说话	13~20
喉咙肿块	12~16
尿意	10~18
影响呼吸	4~8
肌肉收缩	4~9
睾丸痛	10
呼吸苦难（呼吸不适）	1~4

睡眠紊乱

良好的睡眠无论在地球上还是在太空里都同样重要。我们已经讨论了你离开地球时身体和大脑将要经历的各种生理变化。如果没有高质量的睡眠，你将很难处理这些变化，也无法在一个需要时刻保持警惕的环境里保持警醒。在睡觉的时候，我们的大脑会进行自我修复和重置。当昼夜交替以及其他主要循环超出了你的昼夜节律所能承受的范围，你会感到难受。你的睡眠将无法达到所需的深度，而且睡眠5个阶段的持续时间也会变得不正常，包括做梦的阶段。(注)

大脑其他部分（尤其是下丘脑和脑垂体）的变化往往会使睡眠问题加重。下丘脑和脑垂体通过一种复杂的化学反馈机制发生相互作用，使脑垂体分泌生长激素，促进儿童正常生长。在微重力条件下，这个腺体系统会经常出现化学失衡，导致脑垂体重新分泌生长激素，从而引发一系列可能让人衰弱的脑内化学变化，从而影响睡眠。这些变化会令你感到浑身乏力和情绪低落，削弱你的判断力，使你在面对压力时反应怪异，出现非正常行为。

睡眠障碍是太空报告中最常见的疾病之一。除非服用药物，否则宇航员每天的睡眠时间通常会比必要的睡眠时间少两小时。足量优质的睡眠是如此必要，以至于大约75%的宇航员都会服用安眠药，这是宇航员在太空中摄入的药物总量的45%。然而，没有任何一样药物在改善睡眠深度和睡眠时间以及解决药物副作用方面完全令人满意。最近获批的新药或许会让情况有改观。

一旦你的睡眠周期被打乱，通常的结果就是睡眠不足。不幸的是，服用咖啡因和其他兴奋剂类药物这种显而易见的补救方法，在帮你保持清醒的同时，也会加重已经出现的各种认知问题。你会变得易怒，理性和推理能力也会下降。毋庸置疑，这些问题都可能在太空旅行中导致严重的后果。

除了自身的睡眠障碍之外，你的睡眠还可能受到其他人的影响，而其他人也可能受你的影响。一个半夜从噩梦中尖叫惊醒的人一定会吵醒其他人，“众人皆睡我独醒”的失眠者也必然会影响别人睡觉，在地球上打呼噜的人在太空中也会继续打呼噜。随着睡眠知识体系的发展，尤其在更多了解太空睡眠的不同之处后，我们应该可以找到更好的方法保证高质量的睡眠。

太空辐射

太空充斥着有害的电磁辐射。正如第1章谈到的，紫外线、X射线

和伽马射线的高能光子可以直接破坏DNA和其他生物组织。虽然运载工具可以提供一些保护，但跟在地球上相比，你受到的辐射会更严重。当你在另一个星球上行走时，情况尤其严峻，因为宇航服的保护作用通常比不上航天器和太空居住地。

宇宙射线

除了高能光子，宇宙射线——弥漫太空的高速粒子[注]，也会造成破坏。奥地利物理学家维克多·赫斯（Victor Hess，1883—1964）在1912年首次发现了宇宙射线。1926年，美国物理学家罗伯特·A.密立根（Robert A. Millikan，1868—1953）将其命名为“宇宙射线”。后来人们发现宇宙射线其实是由粒子组成的，但“射线”这个误称还是保留下来，让人感到极为困惑。宇宙射线常被称为银河宇宙射线，因为它来自太阳系之外。观察表明，银河宇宙射线的85%是质子，14%是氦原子核（又称α粒子），剩下1%差不多都是自然形成的其他原子核和电子。

宇宙射线的速度和质量决定其能量大小以及它与宇宙中其他物体发生相互作用时产生的影响。运动物体具有的能量被称为动能。但与台球不同的是，原子、离子和电子不是实心的，所以当碰到其他粒子时，它们不会像台球那样撞上然后弹开。与光子一样，宇宙射线同时具有粒子和波的属性。如第1章所说，这让粒子之间的相互作用变得复杂。

来自太阳系以外的宇宙射线是近地空间中最强大的抛射体之一。发光的恒星、爆发的恒星、相撞的恒星、中子星和黑洞等恒星相撞的残留物，还有其他有待确定的来源都可以产生宇宙射线。它的强度通常远远大于太阳风粒子（太阳持续喷射的气体）。因此，太阳风粒子不算是宇宙射线。然而，太阳喷发的有些高能粒子确实被归为宇宙射线，且强度极高，极其危险。地球磁场会捕获太阳风和一些太阳宇宙射线，但有时候这些粒子会从地球磁场，尤其是两极附近泄漏出去，使空气发光，这就是极光。

大多数银河宇宙射线的能量太高，以至于会穿过范艾伦辐射带，逃脱地球磁场。幸运的是，地球大气层可以阻止它们到达地球表面，但能量最高的宇宙射线除外。拦截过程是这样的：宇宙射线撞击空气中的气体，使这些气体分解成更小的粒子，以高速飞向地球；很快，许许多多这样的粒子继续与空气中的其他粒子相撞，从而形成粒子簇；最初入射的这些外太空高能粒子（正式的名称是初级宇宙射线）会把部分能量传递给地球大气层的粒子，这个过程会产生次级宇宙射线簇射（见图7.1），并一直持续下去，直到有些粒子击中地球及其上面的东西或人㊟。由于每次碰撞都会带走入射粒子的一部分动能，所以到达地面的次级宇宙射线的能量比引发簇射的初级宇宙射线要低得多。

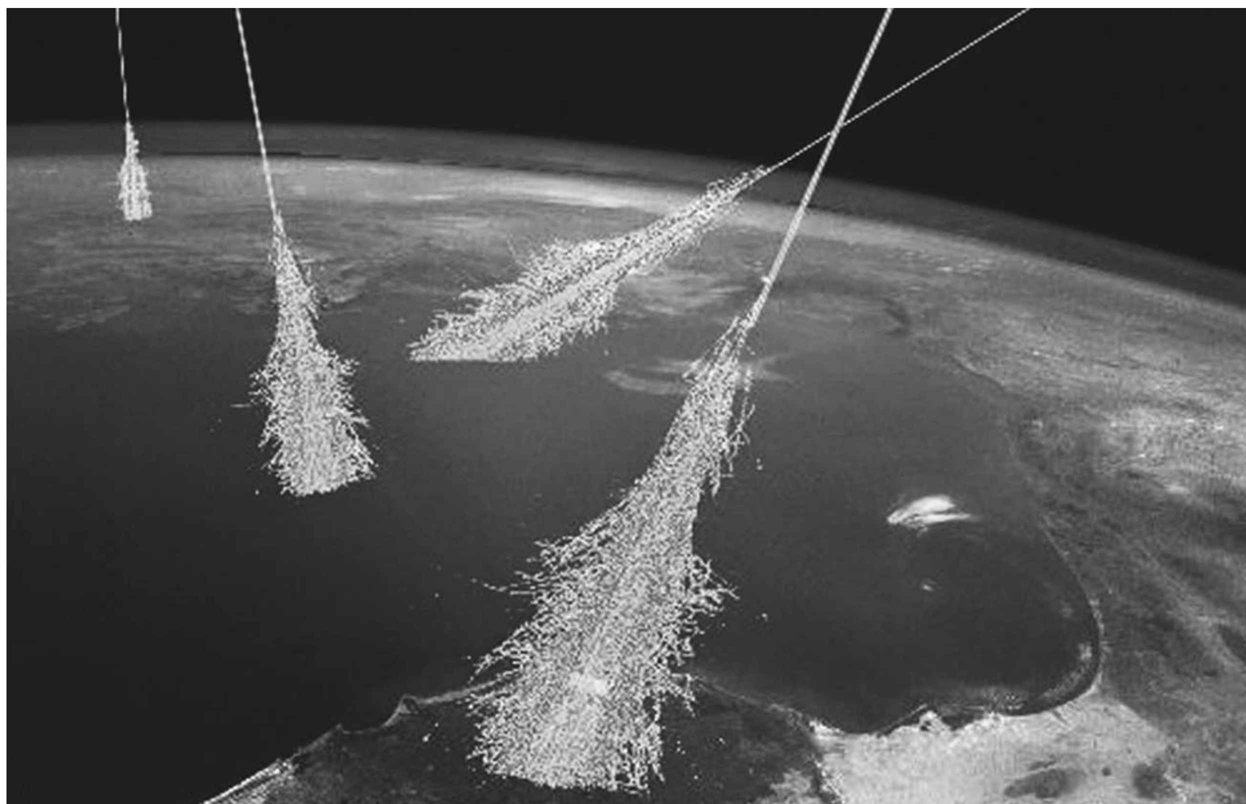


图7.1

四条宇宙射线簇射的图画。一束外太空高能宇宙射线引发了一系列大气粒子向下运动，并与其他粒子相撞。
图片来源：西蒙·索迪（Simon Swordy，芝加哥大学）、美国国家航空航天局

我们来看看高能粒子对太空生活的影响。这些粒子携带的能量通常

大到足以穿透国际空间站、其他航天器和居住地那几厘米厚的外壳[注]。谈及对人体的伤害，你在航天器里或者太空行走时，每秒会有大约5 000个粒子穿过你的身体。大多数粒子在穿过人体时会破坏人体细胞。跟质量最小的氢核和电子相比，铁、镍等质量更大的宇宙射线粒子会造成更大的伤害。事实上，速度最快的铁原子核宇宙射线，其能量相当于一枚以100千米/时的速度被投掷出去的篮球。这些撞击都会损伤细胞：有些会死亡，有些会被破坏。人体会试图修复或更换这些受损细胞。新的研究表明，长时间暴露在银河宇宙射线之下的宇航员患痴呆症的风险会增加。[注]

辐射对人体的影响

人类接触危险剂量的辐射（包括大气层较高位置和外太空的初级宇宙射线）只有一个世纪多一点。严重的辐射暴露一直局限在相对较少的人身上。这些人除了宇航员之外，还包括和平及战争时期的核爆炸、核燃料相关的核事故、放射性矿石提炼、切尔诺贝利和福岛核电站灾难以及实验室辐射（尤其在人类了解放射性物质的危害性之前）的受害者。因此，关于辐射对人体的影响，我们的科学和医学理解尚不完整。

已经确定的是，人体各个系统和器官对穿过人体的地球或太空辐射具有不同的敏感度。下面10个人体器官系统按照辐射敏感度从大到小排列：

- 造血器官，包括淋巴结、胸腺、脾脏和骨髓。
- 生殖器官。
- 消化器官。
- 循环系统。
- 皮肤。

- 骨骼。
- 呼吸系统。
- 泌尿系统。
- 肌肉和结缔组织。
- 神经系统。

有趣的是，作为人体里可以说最复杂的系统，由大脑、脊髓和周围神经构成的神经系统反而对辐射不那么敏感。之所以如此，一个原因是神经系统的细胞分裂和细胞替代相对较慢（至少成年人是如此），所以相对于其他器官，在辐射进入人体时，神经系统细胞处于繁殖周期中最脆弱阶段的概率较小。青少年神经系统的更新速度远超成年人，所以他们很可能比成年人对太空辐射更加敏感。

下面让我们看看辐射对人体的影响，下面是短期高剂量辐射的十大影响：

- 皮肤发红（红斑）。
- 疲劳。
- 腹泻（由于胃肠道内膜破裂）。
- 恶心。
- 呕吐。
- 皮肤水疱。
- 脱水。
- 脱发。
- 精子和卵细胞损伤。
- 死亡。

受到辐射的人不会出现上述所有症状，而且对于受到同一辐射的两个人，他们的反应也未必完全相同。症状的严重程度通常取决于辐射时间和强度。如你所知，辐射剂量越高，其影响就会越早显现。假设你在一次严重的辐射事件中幸存下来，那些没有得到及时修复或去除的基因物质变异（意外变化），可能在几年甚至几十年后才会出现在你或者你的后代的身上。下面是严重辐射的延迟反应。

- 灰白头发。
- 白内障。
- 20多种癌症（即恶性肿瘤）。
- 良性肿瘤增大。
- 生殖器官受损。
- 受到太空辐射的性器官所孕育的后代受损。

太空里的撞击

我们已经知道，辐射以光子的形式存在，其每次撞击都会破坏单个原子或小原子团。当撞击体较大时——至少是一个粉尘颗粒的大小，其影响会显现在更为宏观的尺度上。如果要你选一个词来概括太阳系的历史，你应该选“碰撞”一词。从太阳系诞生于一片星际尘埃和气体云的那一刻起，就已发生过无数次碰撞。那片云里的原子、分子还有尘埃彼此撞击和结合，形成的天体越来越大并继续相互碰撞，运动速度快的天体把彼此撞得粉碎，而运动速度慢的则继续结合。大约1亿年后，那片尘埃和气体云最终聚合成这些大的天体：太阳、行星、卫星和体积较大的小行星。数十亿块小碎片依然留在太阳系，成为太空旅行的潜在杀手。

让我们快进到今天。你可能会惊奇地发现，虽然太空碎片不断进入地球大气层，但我们每天仍旧高枕无忧地生活在地球上。这是因为频繁

出现的小块太空碎片（大小如尘埃颗粒和卵石）已被大气层加热和汽化。体积较大的碎片在穿越大气层时，一部分质量就已经被汽化，剩余的部分落到地面上，伤害人畜，毁坏物体。落到地球上的太空碎片叫作陨石。有关人、动物、建筑物被陨石击中的故事不胜枚举，其中有些是有记载的，但也有很多只是传闻而已。

近地轨道上的撞击

我们曾在近地轨道观察到自然的和人造的太空碎片撞击地球。在国际空间站所在的高度，我们就不再受到地球大气层的保护。范艾伦辐射带可以使一些能量最低的太空粒子发生偏移，但前提是这些粒子必须带电（通常是通过失去电子而带电的）。地球磁场无法改变任何中性粒子的方向，且范艾伦辐射带的强度也不足以显著偏转更大的太空碎片，比如卵石大小以及更大的碎片。因此，太空碎片很可能会撞击环绕地球运行的所有人造设备。在登陆或掉回地球的航天器和空间站的部件上，你能够清楚地看到撞击坑。有些设备暴露在太空中不到10年，起初光滑的表面现在看起来已经像布满陨坑的月球一样坑坑洼洼（见图7.2）。

此外，我们人类自己也制造太空碎片，有些也会撞击近地轨道上的航天器。这些碎片包括固体火箭推进器的发动机在点火时形成的粒子、人类排泄物、航天器表面掉下来的油漆斑块、被陨石或其他人造太空碎片撞碎的太阳能电池板等等。

幸运的是，为了提高安全性，我们可以使用雷达技术来跟踪近地轨道上直径大于0.25厘米的物体。如果有碎片向机动性强的航天器运动，那我们可以操纵航天器避开它。因此，航天器撞上较大碎片的情况极为少见，但近地轨道上估计有超过1亿个微小的太空碎片，它们小到我们现在还无法跟踪，且数量巨大，所以撞上航天器的概率更高。据估计，近地轨道上约有50万个直径在1厘米以上的碎片，总重量达到2 000吨。大大小小的碎片可能会撞击航天器和空间站的任何部位。尽管可以操纵航天飞机的轨道器来避开已知的入射碎片，但在一架航天飞机的8个舷

窗中，总有一个会被跟踪不到的碎片撞坏，返航后需要替换。

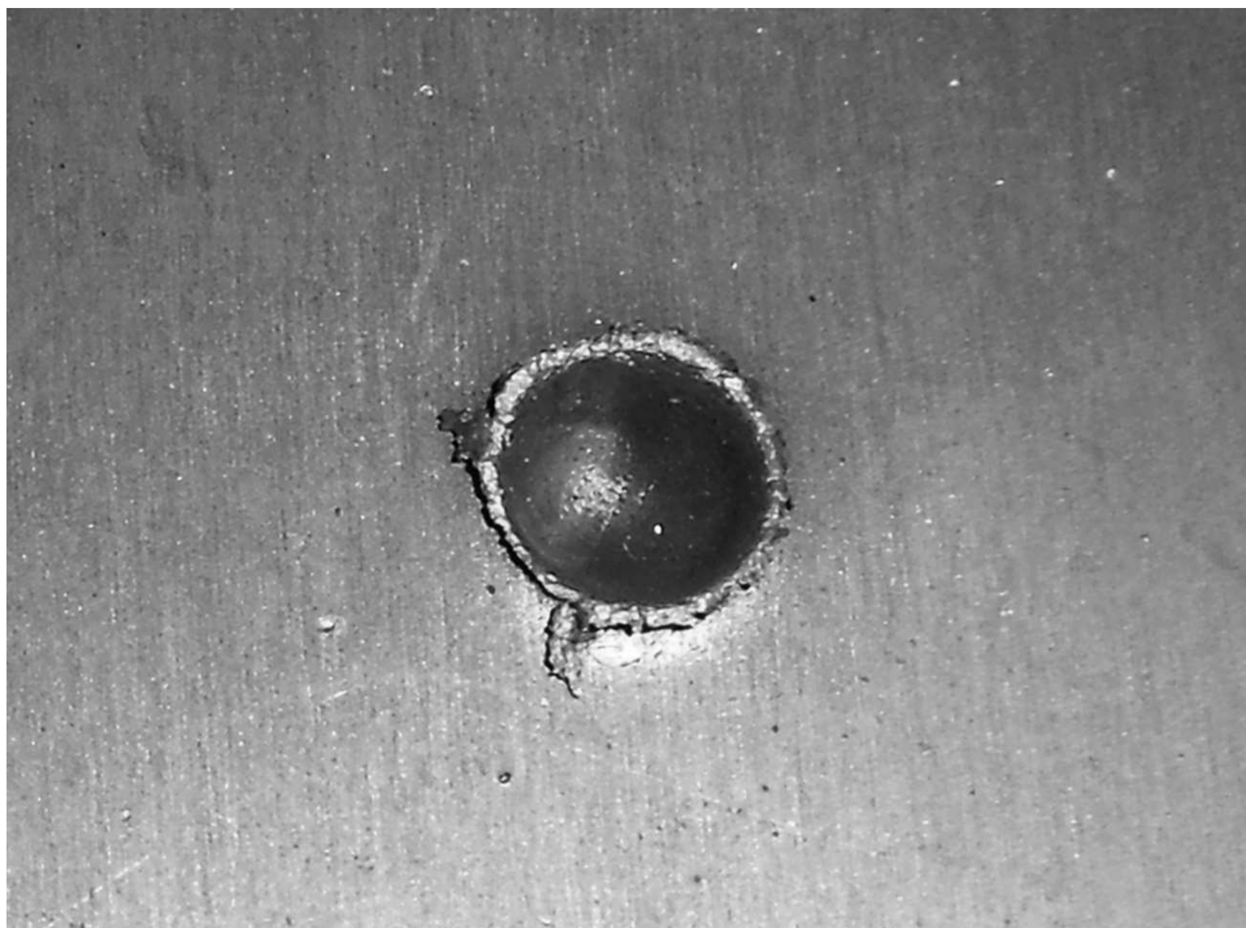


图7.2

美国国家航空航天局长时间暴露装置（NASA Long Duration Exposure Facility）表面的撞击坑。该装置在1984—1990年环绕地球运行。
图片来源：美国国家航空航天局兰利研究中心（NASA Langley Research Center）

即便是微小的太空碎片也会把航天器撞坏。在近地轨道撞击航天器的自然碎片和人造碎片中，绝大多数的长度不足1毫米，但它们的运动速度介于17 700千米/时和250 000千米/时之间，快到足以击穿航天器和轨道上的其他设备（见图7.3）。流星体撞击航天器的速度通常是69 000千米/时，而人造太空碎片的撞击速度一般只有流星体的一半。这些知识十分重要，所以我们在地球上用实验室设备来模拟这样的高速撞击，从而更好地了解太空碎片撞击航天器时到底会发生什么。

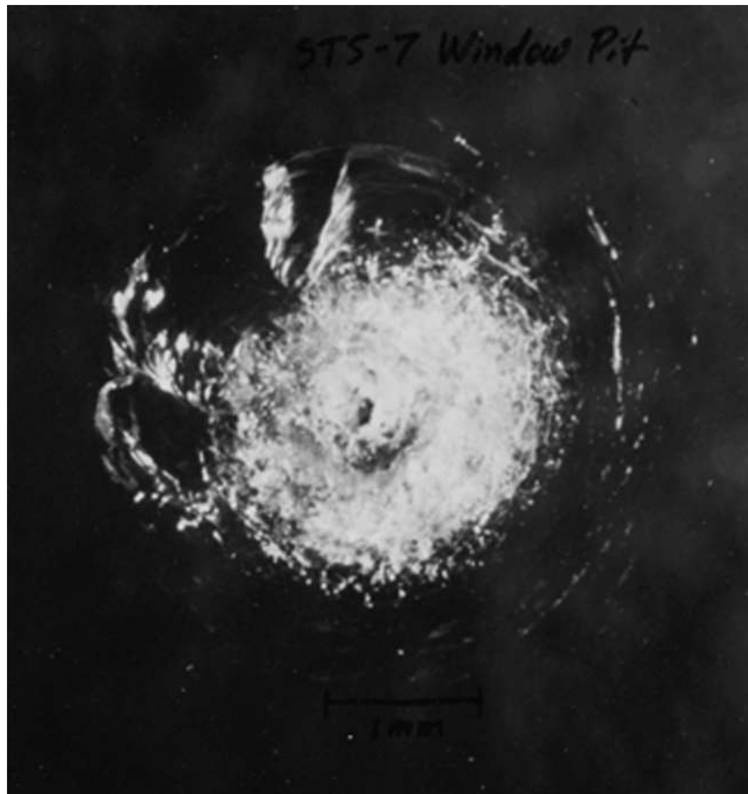


图7.3a

1983年被太空碎片撞击后的“挑战者号”（Challenger）航天飞机的舷窗。
图片来源：美国国家航空航天局

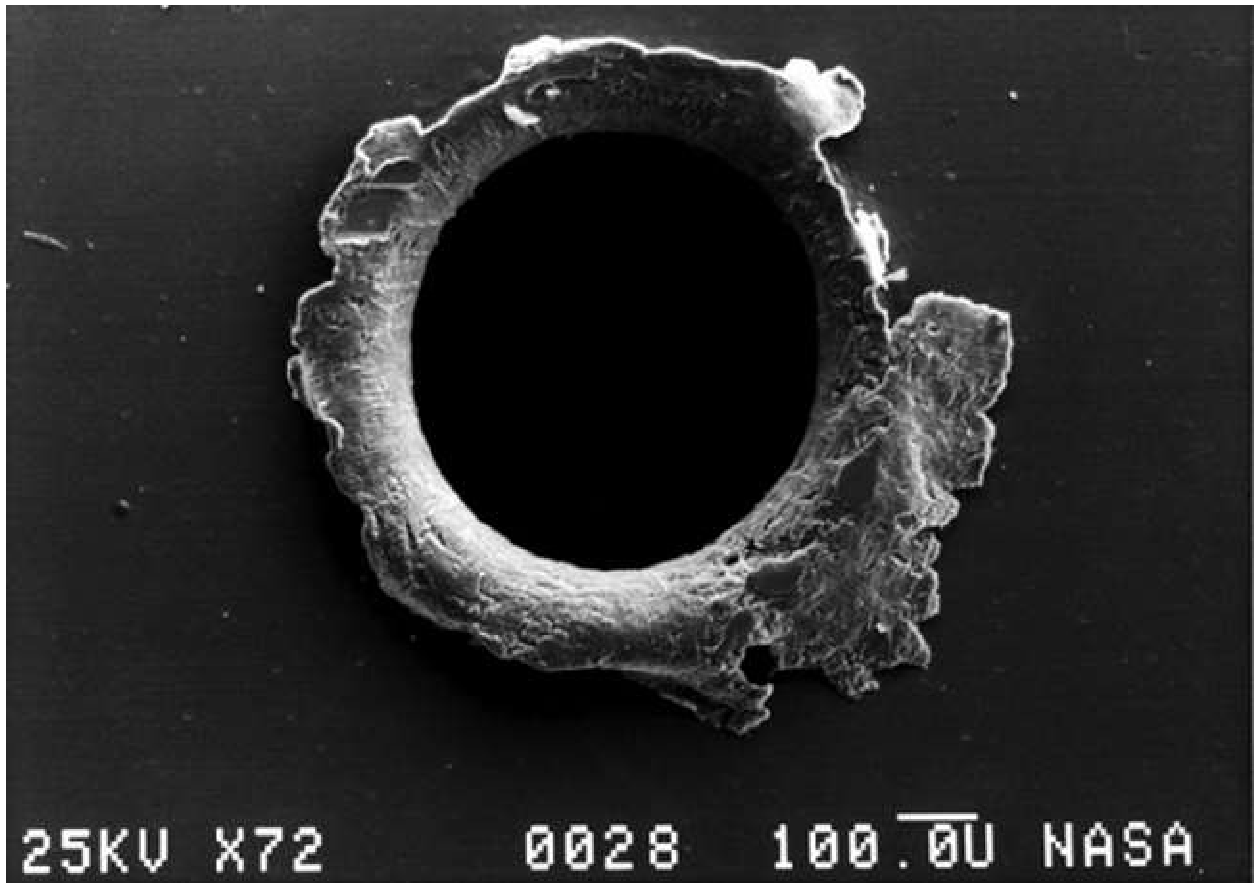


图7.3b

近地轨道碎片撞击“太阳极限”（Solar Max）任务卫星后留下的洞。
图片来源：美国国家航空航天局

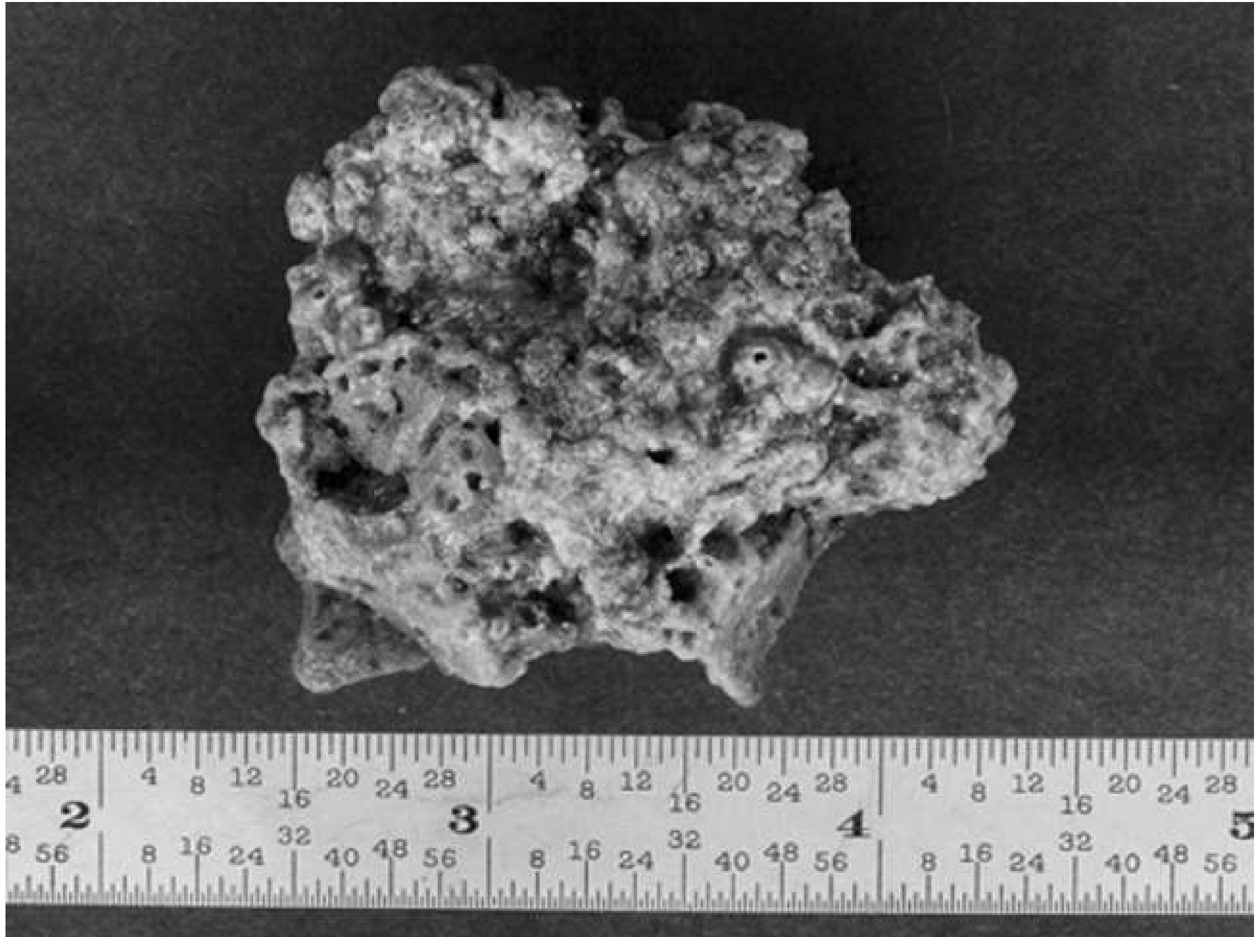


图7.3c

一台固体火箭发动机里的一块氧化铝。
图片来源：美国国家航空航天局

你需要了解撞击会给航天器和宇航服造成哪些破坏，这样你在太空旅行的时候就会知道如何以最稳妥的方式应对。微陨石撞击近地轨道天体时会留下两种陨坑，而其中一种是环形的。当撞击产生的能量大到足以引起被撞击表面汽化并在所有方向上以均等强度爆炸时，就会留下环形陨坑。换句话说，如果撞击力足够大，那么入射体无论以什么角度撞过来，都会击出一个环形陨坑。你可以在图7.2和图7.3b上看到这种环形陨坑。这类撞击尤其危险，因为撞击物会击穿航天器，导致被击穿部位漏气。

另一种是低速撞击造成的长条形陨坑。在这种情况下，入射体不是

垂直砸下来，而是以一定角度撞击目标，然后目标及被撞击出来的物质向前方喷射。这跟你以某个角度把石头扔向水面的效果是一样的。入射体不一定会汽化，而是会进入被撞击的天体，甚至弹起来。即便是这样的低速撞击也能击穿薄的外壳，当然比起上一段所描述的强力撞击，航天器被击穿的概率还是要小得多。

即便是卵石大小的流星体撞击航天器或宇航服也会造成灾难性的后果，所以科学家对宇航员访问过的航天器[注]和返回地球的航天器进行了大量研究，以便了解撞击的影响。美国国家航空航天局的长时间暴露装置是一个为收集撞击数据而专门设计的航天器，它从1984年到1990年在绕地轨道上运行。我们用扫描电子显微镜观察它的表面，发现了数百万个撞击坑。还有一颗用于撞击研究的人造卫星在1992年到1993年飞行了近一年。在它暴露在外的140平方米的表面上，我们可以看到1 000多个撞击坑，最大的直径2/3厘米，最小的直径约0.1厘米。幸运的是，这两个航天器在执行任务的过程中一直正常运行。

流星体和太空碎片如果击穿航天器的表面，就会造成空气泄漏，这是极其危险的。因此，国际空间站大约有200个被称作惠普尔护罩（Whipple shield）的保护装置安装在精心设计的位置上。这种护罩由几层材料组成，每层之间都有间隔，从1英寸到几英寸不等（1英寸约等于2.54厘米）。入射体撞击护罩的外层后，碎成很多小块，同时还带出一些外层的材料。接着，小块碎片击穿由防弹衣材料凯芙拉（Kevlar）或其他类似材料制成的几道坚硬的中间层，再出来的时候会变得更小，同时损失很多能量，所以它在撞击最里层的时候会直接弹开，而不会造成任何破坏。当然，这些护罩需要时常更换。此外，所有载人航天器还装有传感器，用来检测航天器被击穿时的空气损失。所有宇航员都受过特殊训练，知道如何应对这样的紧急情况。

月球上的撞击

对于你可能访问的其他天体——火星、行星的卫星和小行星，几乎所有的陨坑都是环形的。㊟跟近地轨道天体的环形陨坑一样，整个太阳系自然天体的陨坑都是强力撞击留下的，而且撞击力之大，足以使天体表面和撞击体爆炸。幸运的是，我们从地球上或者未来从航天器上看到的太阳系陨坑，大部分都形成于30多亿年以前。但并非所有！

我们有几种方法来探测月球现如今受到的撞击。一种是20世纪60年代和70年代使用的方法，它的工作原理基于这样一个事实：高速撞击会引起行星表面震动。天体的内部运动也会引起表面震动，就像地球上的地震一样。地质学家使用非常敏感的震动传感器——地震检测仪来探测地震。

为了研究月球是否也有月震和被撞击的情况，执行“阿波罗11号”以及12号、14号、15号和16号任务的宇航员在月球表面放置了“月震检测仪”。这些月震检测仪确实探测到了月面的震动。通过测量每台月震检测仪探测到每组震动的时间点，地质学家能够大致确定震源。有些震动源自月球内部，而其余的是由流星体撞击月球表面引起的。通常情况下，月震检测仪每年检测到大约170次流星体撞击。如果以地球为参照系的话，这些撞击的力量从几千克到5 000千克不等。“阿波罗号”月震检测仪测出的平均撞击次数远远小于实际撞击月球的流星体数量。这是因为，大多数撞击体的质量太小，超出了早期月震检测仪的灵敏度。1977年9月，美国国家航空航天局为了省钱，关闭了这些月震检测仪。

第二种方法是通过撞击发出的光进行检测。确实有人声称，人类至少在12世纪的时候就看到过月球表面上的闪光。但是，直到1999年（见图7.4）许多观测者在全球不同地点同步观测时，才通过闪光证实了几次对月撞击。自那以后，观测者已经多次完成对撞击闪光的同步观测。

目前，验证对月撞击的真实性仍是一个挑战。因为闪光的时间十分短暂，而且很难获得理想的望远镜观测时间，所以寻找撞击闪光的各路人马很少能在同一时间观测月球。在这种情况下，人们怎么知道什么时候观测最有可能成功呢？答案是天空中那些美丽的彗星。正如第1章所

讨论的，每当彗星接近太阳时，彗星自身的一部分冰就会变成气体，同时把彗核中的一些岩石物质（与冰混合在一起）也带走。这些气体会飘出太阳系，岩石物质则留在彗核的运行轨道上。一颗彗星在接近太阳100次以后，或许就只剩下这些岩石碎片，最终扩散在整个轨道上。

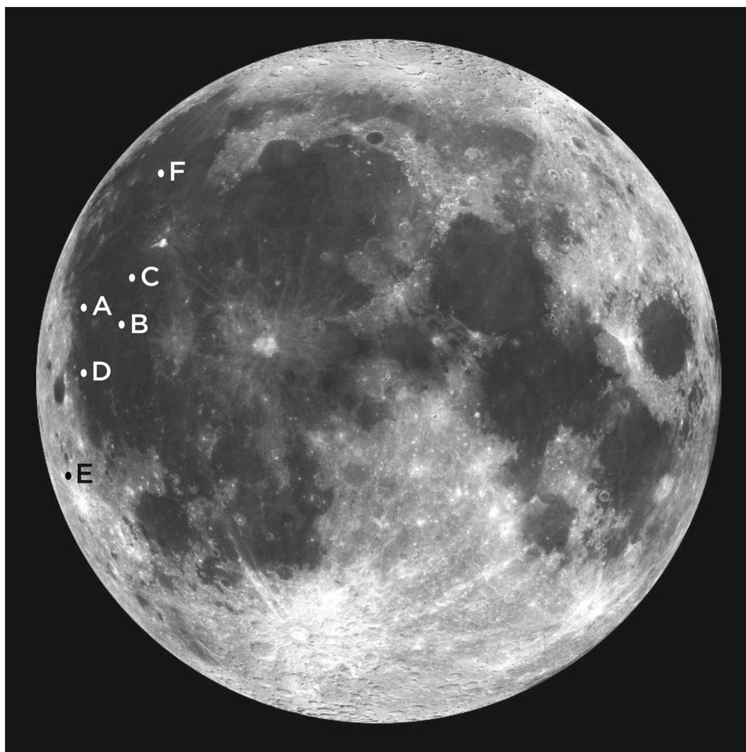


图7.4

对月球的撞击。照片上标记的点显示的是1999年11月狮子座（Leonid）流星雨期间撞击发生的地点。撞击物以260 000



千米/时的速度撞击月球。如果以地球为参照系，撞击物的重量在1~9千克之间。
图片来源：美国国家航空航天局

地球和月球每次与一颗彗星的运行轨道相交时，都要在大量的岩石碎片中艰难穿行。在引力作用下，几百块甚至更多的碎片会被拉向地球和月球，从而形成流星雨。太空碎片穿过地球大气层时，与大气发生摩擦而被汽化，留下一道尘埃痕迹，这就是流星。当出现大量流星时，我们就会看到流星雨。这些流星都来自同一个方向，也就是地球向彗星碎片前进的方向。因此，流星雨的出现是可预测的，但很难说每小时到底有多少颗流星飞过。其中还有一些碎片撞向了月球，所以在流星雨出现的时候，天文学家有可能观测到彗星碎片撞击月球的景象，如图7.4所示。

第三种探测方法是通过撞击产生的气体进行检测。入射体撞击月球时，两者之间会发生巨大的能量传递，这会使入射体连同月球表面的一部分被汽化。由此产生的气体要么回到月球表面，要么飘向外太空，它们如果回到月球表面，会进入月球那极其稀薄的大气层。令人赞叹的是，我们能够用轨道航天器探测月球大气层的变化。当流星雨里的碎片

击中月球时，钠蒸汽作为月球大气层的一个主要成分，其含量会发生变化。

即便在远离死亡彗星运行轨道的时候，我们每天晚上还是可以看到流星，只不过没有下流星雨时那么密。这些流星是随机进入地球大气层的碎片。说了这么多，你应该了解，等你去月球的时候，很可能会遭遇低质量天体的撞击。一般说来，如果你在地球穿过彗星碎片时前往太空，被撞上的风险更高。

当我们在月球建起人类居住地的时候，想必雷达探测技术已经足够先进，让我们能够预测更为危险的撞击。在一个月球的清晨，你起床后在月联网(注)上查看当天的天气预报。你想先看看太阳辐射的水平（相当于地球上的气温）和当天的撞击次数。这两个参数决定你当天做哪些事情才是安全的。

星际空间里的撞击

对于地月系统以外的星际空间旅行来说，能够保护你免受撞击伤害的只有你乘坐的航天器，而可能撞击航天器的主要是小的太空碎片（流星体）。数十亿个这样的碎片沿着随机轨迹绕太阳运行。

不管在哪儿，人类总是习惯于走一路垃圾就扔一路。在你之前进入太空的人可能会把一些垃圾扔出航天器。好消息是，不同航天器前往地月系统之外的不同目的地时，航线都不一样，所以你不会在你的航线上看到别人丢掉的太空垃圾。相比之下，绕地轨道上的太空碎片经常撞击目前正在绕地运行的航天器。

火星上的撞击

以单位面积计算，火星遭遇高速撞击的次数可比地球多得多。这是因为火星大气层的密度还不到地球的1%，稀薄的空气无法像地球大气

层那样将入射的碎片汽化。幸运的是，你去火星的时候，要提防的不是太空碎片，而是遮天蔽日的火星风吹来的尘埃颗粒，尺寸比地球上的沙粒要小得多。

尽管火星风的风速一般只有35千米/时，但其表面任何东西上都会积累大量的尘埃。尘埃的撞击力通常是微不足道的，它们绝对不会把你的宇航服砸出坑来，但风和尘埃的流动会产生电荷，使尘埃附着在各种塑料制品和其他人工制品上。尘埃颗粒的撞击速度决定了尘埃积累的厚度。有趣的是，研究表明，低速尘埃颗粒形成的尘埃层会随着暴露时间的推延而不断变厚，而高速尘埃颗粒——比如240千米/时——反而只能积起薄薄的一层。低速尘埃颗粒会附着在许多物体上，就像柔顺纸会因静电吸附粘在被烘干的衣物上一样。相反，高速尘埃颗粒撞击时产生的能量比较大，会使已经附着在物体上的尘埃颗粒又脱落下来，所以形成的尘埃层相对较薄。

科学与科幻作品

地球引力使大气中的原子和分子聚集在地球周围，这些气体向地球上所有的东西施加100千帕的平均压力。但经过进化，我们一般感觉不到空气压力的存在，即便把门窗关严，我们一样感觉不到。有风吹过来的时候，我们才会感到气压的存在。显然，风速越快，我们感到的压力就越大。

火星周围的空气比我们的大气层要稀薄得多。因此，火星表面的正常气压大约只有0.6千帕[注]，比我们的日常大气压低160倍。这意味着，面对火星风，我们感到的压力会远远小于地球风。算起来，火星大气压只有地球大气压的0.6%，所以时速160千米的地球风在火星上会可能让人感觉只有16千米/时。因此，火星上的大风暴可不会像《火星救援》里演的那样直接把人吹倒。

对访问火星的人来说，了解撞击的影响很重要。我们相信，可以在地球上用尘埃和较重颗粒组成的风洞，模拟火星风把碎片吹过来的情况，从而探知这种低能量撞击会带来哪些后果。结果表明，我们很难去除附着在宇航服和遮光板上的尘埃，清洁起来困难重重。如果采取擦除的办法，附着物会嵌进塑料遮光板，留下划痕。尘埃积累得越多，遮光板就会磨损得越严重，宇航员也就越不容易透过遮光板看清楚外面。此外，覆盖在移动机械表面的尘埃会产生摩擦，侵蚀运动部件。此外，太阳能电池板上的尘埃会产生电荷，降低电池板的效率。

来自宇航服设计师的忠告：火星上的撞击和辐射会导致织物卷曲或起皱！虽然这算不上什么形象危机，但问题是，反复撞击会使暴露在外的表层变脆变硬。这不仅会让人感到不适，还可能导致织物在受压时开裂。此外，在白天，强烈的太阳紫外线穿过火星那稀薄的大气层并不断击打火星表面，而在地球上，大部分紫外线被地球大气层阻拦在外面。跟在地球上一样，许多材料在受到强紫外线照射后都会变脆、褪色和破裂。即便是设计师款的宇航服也必须由防辐射材料制成。

小行星上的撞击

你前往小行星时可能遭受的破坏和伤害与前往月球的情况基本相同。也就是说，没有大气层和磁场的保护，小行星也会像月球一样被微陨石撞击。然而，由于小行星的质量比月球小，不像月球那样对太空碎片产生很强的引力，所以小行星被撞击的概率稍微小一些，而且入射碎片的速度也比撞向月球的碎片慢一些。

彗星附近的撞击

如果你前往一颗彗星，那么撞击来源有这样几个。首先是彗核刚刚释放出来的碎片。尽管这些碎片极为稀疏（跟地球沙尘暴中的颗粒相比），但只要有一个碎片撞上你们，就能毁了一整天。要想降低风险，

一个办法是从彗星朝向太阳的那一面缓缓接近它，因为这一侧彗发中的颗粒速度比较慢。

一些彗星还会喷出气流。在有些区域，彗星内的气体被太阳加热，可能会从岩石碎片最稀薄的部分喷射出来，形成气流。虽然与地球大气层相比，这些气流的密度很小（见图7.5），但它们仍然会构成严重威胁，只要被其中的几个颗粒撞上，我们就可能小命不保。因此，最好不要访问正在喷射气流的彗星。

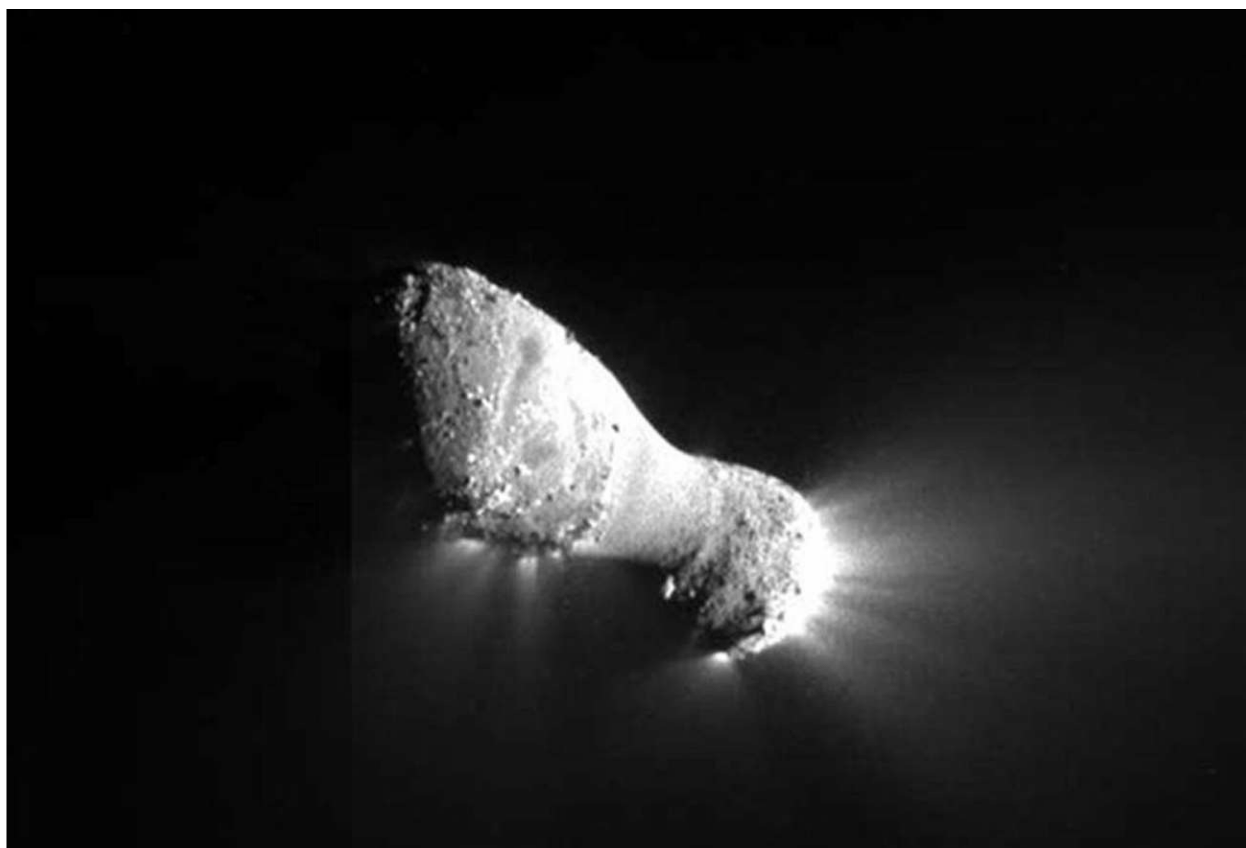


图7.5

从哈雷2号彗星的彗核逃逸的气体流。太阳位于图的右边。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室、马里兰大学（UMD）

---

1. 胸腔内所有柔软的部件，指胸腔内的脏器。
2. 骨骼力学的研究表明，骨髓并没有严重削弱骨骼的强度和硬度。几乎任意一个实心

物体的强度和结构，比如一块骨骼或一棵树，都取决于它的外半部。正因如此，内里腐烂的树木仍然能够挺立多年不倒。

3. 在原文中，关于肌肉变化的前三段里，作者将快肌和慢肌说成两种肌肉类型，这种说法不准确。快肌和慢肌是两种肌纤维，译文已进行合理修正。

4. 从肌肉谈到斗鸡眼，是因为在太空中主管眼球运动的肌肉可能由于萎缩而造成内斜视。

5. 睡眠的5个阶段分别是：入睡期、浅睡期、熟睡期、深睡期和快速眼动期，其中做梦发生在快速眼动期。

6. 原文用“原子”，这种说法不准确，且与本段后面的文字不一致。宇宙射线主要由亚原子粒子组成，也就是后面所说的质子和氦原子核。

7. 大学四年级的时候，我组建过一个“宇宙射线实验室”，在里面，我看到宇宙射线穿过面前的云室。当我意识到还有其他宇宙射线正在穿过我的身体时，我感到毛骨悚然。

8. 这个外壳通常由几层塑料组成。在受到地球大气层的粒子撞击时，塑料层会解体。有人曾提议在航天器外面包裹一层水壳，因为它也能吸收大量宇宙射线，引发次级宇宙射线簇射。这些水还可以饮用或用于其他用途，用完后可以回收并回注到水壳。

9. http://www.nature.com/articles/srep34774。

10. 比如国际空间站。

11. 地球上的陨坑也是环形的。

12. 原文为“26 000”，有误。

13. 月联网，原文为“Lunanet”，是作者杜撰的词汇，指未来月球上的互联网。

14. 原文“0.06千帕”，有误。

第8章

在太空中与人相处
——太空旅行的心理和社交影响



假如你刚刚跟一个好朋友大吵了一架，你会怎么办？躲在家里或咖啡厅里静一静，思考怎么解决问题。你也可能向家人和其他朋友倾诉，或者做些剧烈运动，让大脑高速运转，思考解决办法。如果问题可以调和，那你可能会跟那个朋友谈谈，解决你们之间的分歧。如果问题不可调和，那你或许会跟他“绝交”，从此老死不相往来，你也就不必再面对这些分歧了。

然而，如果在你生活的环境里，你跟这个人的距离从来不会超过30米，而且你每天都要跟他碰几次面，那可怎么办？想象一下，你那电话亭般大小的舱位离他的舱位不过几米远。在航天器或空间站里，哪怕你只是想静下心来思考这样添堵的问题，你都必须戴上降噪耳机，屏蔽各

种背景噪音，包括乘员的说话声、空调的嗡嗡声、机器运转的呼呼声、通信设备的哔哔声，还有其他正常运转的设备所发出的噪声。最糟糕的是，你知道你的亲朋好友真的远在三四十万千米之外。如果你身处地月系统之外，光速会限制你与地球上人员的交流速度，产生可能会让你感到别扭的延迟，你说完一段话之后，要等上几十秒甚至更久才能听到对方的回答。

让我们看看太空旅行中可能出现的各种个体问题和人际问题。这不是自寻烦恼，而是为了解决实际问题，以免酿成大祸。有些事件和情况会影响你的心理健康，而有些恰恰是由你的心理状况引起的。许多研究聚焦于相似的孤立环境，包括冬天的南极洲、潜艇以及自愿的小群体隔离实验［比如国际火星协会（Mars Society）的火星沙漠研究站（Mars Desert Research Stations）的实验］，在这些环境里，群体成员抬头不见低头见。本章描述的行为和规范，正是源自对数百个这类群体的研究。你的旅途中很可能会发生本章谈到的许多群体动态，也就是独立群体内部两人或多人之间的互动，但是具体哪些会发生，这几乎无法预测。不过，做好准备总没坏处。

太空旅行是个人的自由选择，所以本章排除了以被迫进入受限环境的人（比如囚犯）为对象的研究。尽管太空环境对人的限制与刑罚体系对罪犯的限制有可比性，但两者的差别远远多于相似之处。正因如此，我不想将二者相提并论，以免误导读者。

人际互动的复杂性表明，任意两个人数相同的群体，即便使用相同的设备来执行相同的长期任务，他们的群体动态也会有很大区别。参与者越多，旅行总体上和谐的概率越高。

实时的心理健康支持是长期太空任务取得成功的必要条件。考虑到人际互动的深刻复杂性，飞船上至少要有一个训练有素的人，能够帮助个人、多人和团队解决个体问题和群体问题。最理想的是，机组里有一名心理医生，或者随队医生在心理疾病诊断和心理咨询方面受过良好的训练，能开出缓解症状的药物。除此之外，一名心理学家或受过训练的

调停人也很有价值，因为他能够发现潜在的个体问题和人际问题，努力化解矛盾，传授放松技巧，提供咨询服务。注舰长必须善于跟人打交道，确保大家和睦相处是其至关重要的职责之一。最后，飞船上还要有专门的安保人员，负责在个人或人际冲突导致人身伤害时提供保护。当然，这些维护秩序的人自身也有可能出问题，那情况就更复杂了。

筛选的重要性

想要在商业太空旅行实现的首个世纪享受到太空游的特权，仅仅有钱、有过硬的“关系”是不够的。飞离地球的旅途越远，你要接受的测试和训练就会越多。如果只是花几天时间去趟空间站，或者在月球上逗留一两个星期，那你基本上用不着学习怎样与小群体一起在狭小的舱位里生活。然而，如果你要参与飞出地月系统的旅行，那你就需要接受大量的适应性训练。

如果要飞往火星的卫星或者彗星，那你可能需要在出发前花数月时间接受生理和心理的测试和训练，我们在第3章讨论过这些。至关重要的是，每个进入太空的人都必须能经得住严苛的生理考验，以及非同寻常的情感体验，因为你要与陌生人密切接触，却远离了家人、朋友还有地球上的吃喝玩乐。抛开杂七杂八的其他要求不谈，你首先必须能够与同行者和平共处，否则，旅行可能会陷入混乱。

各国的海军、太空机构、派人到石油钻井平台等偏僻场所工作的公司，还有在遥远的北极和南极大陆有常驻人员的国家，这些组织都已经开发出了各种各样的筛选流程，为执行长期任务的小群体挑选适合的人员。这些流程包括各种生理和心理测试，其中有些测试的压力很大。也有可能等到你想参加太空旅行时，相关组织还将采用基因筛查，受检DNA标记可以指示你出现某些淘汰性生理或心理问题的概率。这样的筛选将是你必须跨越的障碍，而且重要的是，无论通过与否，你都应该积极面对。如果你“没有通过”，请放心，身心健康团队一定会告诉你，为

了保证你和他人的安全，你得留在地球上。

就算最终通过了筛选，这也不能保证你在太空中的身体、情感和社交状态就会一切正常，行前测试只是确保你在旅途中健康快乐的必要条件，而非充分条件。事实上，有好几个经过严格测试、训练有素、高度自律、积极主动的高学历宇航员都在太空中表现不佳。下面是以往发生过的一些太空情绪问题，现已公开。1996年，约翰·布莱哈（John Blaha）在“和平号”空间站上得了抑郁症；1985年，弗拉基米尔·瓦休京（Vladimir Vasyutin）在执行“联盟T–14”（Soyuz T-14）任务期间出现了生理和心理疾病症状；1976年，执行“联盟–21”（Soyuz-21）任务的两名苏联宇航员鲍里斯·沃林诺夫（Boris Volynov）和维塔利·佐洛波夫（Vitaly Zholobov）出现人际关系问题，导致任务中止；1973年，“天空4号”（Skylab-4）实验室的宇航员杰拉尔德·卡尔（Gerald Carr）、威廉·波格（William Pogue）和爱德华·吉布森（Edward Gibson）因过度劳累而对地勤人员心生敌意，不肯工作，甚至拒绝与地面联系长达24小时。这份清单并未穷尽所有案例。从分配的工作量中吸取的教训，地勤人员与宇航员之间的互动，以及太空旅行者的行为，这些都在帮助我们不断地改进方法，以便更有效地挑选、训练和管控前往太空的宇航员。

出现严重心理健康问题的概率

基于以往长期生活在隔离环境中的人群的经历，我们可以定量估算太空中出现心理健康问题的概率。医学征象指病人的外在表象，而症状是本人可以感觉到但别人看不到的异常变化。皮疹是一种征象，而感到胸部仿佛被钢筋勒着就是一种症状。为简单起见，我将二者统称为症状。

根据美国国家科学院（National Academy of Sciences）出版的《一路平安：关怀执行探索任务的宇航员》（*Safe Passage: Astronaut Care for Exploration Missions*）一书，在所有长期处于封闭环境（几个月至几

年）的人当中，每年有3%~13%的人会出现心理疾病的症状。让我们应用一下这个概率吧。假设你要从地球前往火星的卫星，旅行为期3年。太空旅行机构已经竭尽全力对乘员进行了筛选，所以心理健康相关事件的发生率可以取这个范围的最小值。再假设你们的飞船上有12名乘员，那么按照每人每年3%的心理疾患发病率，你可以预期的是，至少有1人[注]会在你们返回地球之前出现心理疾病的症状。

心理疾病比任何一种生理疾病都更多见于普通大众。（当然，这样说不是很公允，因为各种生理疾病均被视作单独的类别，比如癌症、流感和阑尾炎，而所有归为“心理”类的疾病被看作一个整体。我要说的是，心理疾病作为一类疾病是极为普遍的，我们应该将其视同生理疾病来接受和对待。）此外，即使是最训练有素、最“善于打成一片”的人，也可能在太空中经历情绪调整和其他的心理健康问题，甚至出现心理疾病的症状。对于在轨道上停留数月的宇航员来说，抑郁症很常见。比如前文提到的美国宇航员约翰·布莱哈，他在“和平号”空间站上得了抑郁症，这件事曾被广泛报道。他的旅程一开始就不大顺利，与他一同受训的两名苏联宇航员因身体原因无法成行。结果，他不得不与另外两个完全陌生的苏联宇航员从头开始建立关系。

对潜艇兵进行细致筛选的美国海军发现，潜艇兵的心理疾病是导致潜艇任务中止的第二大原因，后面将要谈到的焦虑发作则是最常见的心理机能障碍。

群体的互动

既然我们已经知道了心理健康的重要性，那么现在让我们谈谈哪些因素会影响心理健康。与同事友好合作是必要的。我们一生中会成为许多群体中的一员，在单位、学校、休闲场所、家庭和社区内，我们都会与很多群体发生联系。群体对于任何人的集合都可能产生积极或消极的影响。健康、协作、支持、信任、有凝聚力的群体通常不是自发形成

的，而是需要人们刻意培养的。1996年，几个团队试图攀登珠穆朗玛峰。根据乔恩·克拉考尔[注]在《挑战巅峰》（*Into Thin Air*）中的描述，其中两个团队遭遇了暴风雪，包括两名领队在内共8人死亡。主要问题是，他们所谓的“团队”不过徒有虚名，因为他们并没有花足够的时间来学习如何培养凝聚力，如何增进相互理解和信任，如何有效应对紧急情况，以及如何形成能够带动团队工作的协同决策机制。正因如此，当一系列问题出现时，他们没有办法共同应对。

正如太空旅行前你必须经过生理和心理筛选，你可能还必须在行前与其他同行者相处，以确定是否存在明显的个性冲突。在这段共处的时间里，你们会听取有关设备和飞船本身的全面介绍，学习急救程序，并且在模拟的飞船起居舱里作为一个团队共同生活和工作。与其他测试一样，这也不能保证旅途因为积极的群体互动而令人满意，但这有助于消除最明显的错配。

群体能给个体提供安全感和归属感，让个体觉得自己很重要。群体具有半渗透性，所以结构固定、有凝聚力的群体往往很难接纳新人。有些已成形的群体甚至用贬义词来称呼新成员，比如“嫩手”、“潮手”、“生手”和“菜鸟”。如果你已经属于某个群体，那么这也会增加你被另一个群体接纳的难度。

研究表明，负面的群体互动会给处在南极洲等孤立环境的群体带来各种不良后果。群体会割裂成剑拔弩张的多个派系，进而导致派系间出现过度竞争、欺凌或暴力。被主要群体排斥和孤立的成员会表达愤怒和沮丧，逃离群体，消极怠工，出现临床抑郁症或其他心理问题，而这些会使他被进一步孤立。当群体在孤立环境里出现差错，群体中往往有人会逼迫被排斥的成员当替罪羊，尽管那些差错既不是他们造成的，也不是他们所能预防的。

近距离生活在一起几个星期或更长的时间，会造成人际关系紧张。这段时间出现的问题，有些与我们的环境需求有关，有些则与群体成员的个性和文化差异有关。

拥挤

拥挤这个概念很复杂，原因有二：一是它在不同情况下具有不同的含义，二是在不同文化里，让一个人感到舒服的周围人数和人群密度也不同。拥挤首先涉及一个人在与他人互动时所需周围空间的大小，这被称为“个人空间”或“个人区域”。大多数人在个人空间受到侵犯时会感到不自在。根据你所在的国家和社会不同，这个空间可以从几厘米到一臂之隔不等。如果你的个人空间处在这个范围的上限，那么你必须学习如何适应太空中人与人之间更小的身体距离。

失重状态放大了个人空间问题。你在飘浮的时候，对上下的感知会受到很大挑战，就像第4章所讨论的那样。由于大家都在自由飘浮，你会看到头朝下或横躺着的人在跟你说话，这会改变个人空间的概念。我们在地球上的研究和一些宇航员的经历表明，如果与你互动的人不是直立着的，你会需要更大的个人空间。换句话说，对那些在你看来眼睛在嘴下面的人，你要想看着他而不感到别扭，就必须比正常情况离他更远一些。

令问题更复杂的是，航天器内的通道十分狭窄，有时只能勉强允许两个人挤着过去（见图8.1）。与普通的房屋或公寓相比，航天器和其他天体上的大部分其他空间也会比较局促。身体贴近还会带来可能不如人意的感官信息，特别是气味。你可能会因为某人的气味令人厌恶而躲着他，也可能在特别接近某人时，发现他的气味或其他方面很有魅力，让你想要跟他发展亲密关系。如果没可能继续发展的话，你或许就会觉得这种接触虽然美好却令人沮丧。



图8.1

宇航员詹姆斯·S.沃斯（James S. Voss）和一套宇航服穿过国际空间站“星辰号”服务舱（Zvezda Service Module）的舱门。
图片来源：美国国家航空航天局

即使房间里人与人的间隔相对较大，但个人空间还是偶尔会被四处飘浮的人侵犯。举个例子：假设在去往火星的旅途中，你正在一间公共休息室里阅读一本电子书，完全沉浸在故事中的你随意地飘来飘去，在毫无知觉的情况下，一脚蹬到了墙上，身体转了起来，结果没留意踢到了别人的后背。这种对私人空间的无意侵犯可能会引发压力、紧张、焦虑和敌意，同时还会刺激同伴的性意识。

在西方文化里，拥挤效应与群体的性别构成相关。比起全部是女性或混合性别的群体，在完全由男性组成的群体中，前文所说的负面影响会加速发酵。对其他文化而言，群体的性别互动有时大相径庭：在这样的群体中，女性的存在往往会加剧紧张关系。

在航天器和太空中的其他地方，由于各个舱位离得很近，你将不得

不时常调整自己的舒适度要求，因为时不时地就会有人进入或穿过你的个人空间。这意味着你基本上要“放弃”正常的个人空间。对于他人的进入，你要么无视，要么欢迎。显然，你很容易让亲近的人进入，而对于“其他人”，你可以降低对近距离接触的敏感度，这是你在启程之前值得完成的训练。

拥挤这个概念也经常用在很多人出现在同一时间、同一地点的情况下——即便每个人的个人空间都受到了尊重。人群会使人的感官过载，让人感觉自己生活在一个资源有限的环境里，行为受到严重的限制。通常，在对局势缺乏掌控的情况下，你会对人群更敏感。如果生活在一个时常拥挤的环境里，你可能会出现如下倾向：比平时更努力地寻求私密性，逃避社交互动，不愿意帮助他人。此外，生活在拥挤环境中的人往往更易怒，行为更有侵略性或更暴力。

在讨论相关的隐私问题之前，让我们先了解一下航天器里哪些好的设计元素可以缓解拥挤感。这些元素包括颜色、质地、照明、座位安排、房间布局、给人以“忙碌感”的房间外观甚至是墙壁的形状（直面好于曲面）。

那么，在航天器里，你可以做些什么来减轻拥挤的感觉呢？首先，你要有调整环境布局的自由。例如，如果航天器的公共区用隔板划分成了不同的区域，那么允许你调整隔板的位置来营造不同的“空间”会让你感觉好一些。同样，允许你改变照明和大屏幕上的场景也有助于你缓解与拥挤相关的压力。

隐私

隐私对你来说意味着什么？对有些人来说，它意味着让人独处的条件。对另一些人来说，它意味着掌控与谁互动的权力。有的时候，有些人独自工作要比有人陪伴效率更高。还有人把隐私与发展亲密关系的机会联系起来。此外，隐私还可以指有那么一个地方，能让你保存秘密或

者宣泄悲伤、愤怒等情绪，这样才不会损害你在别人心目中的形象。

隐私需求和实现手段在一定程度上取决于你在何种文化中长大。例如，在某些文化中，隐私不是指独处，而是指不交谈。在有些文化里，人们会怀疑想要独处的人可能在搞越轨行为或者其他不被社会接受的活动。你需要在离开地球之前了解同行者的文化期待和需求，这会使你更容易适应飞船这一封闭的新环境。

正如前文所说，人群会使人压力增大，加剧紧张关系，这时我们往往会在事后跑到一个“私密”的地方释放压力，但在航天器上，你的私人空间会非常有限。拿现在国际空间站上宇航员的舱位举例，你能期待的私人空间就是一个电话亭大小的封闭铺位（见图8.2）。



图8.2

苏联宇航员尤里·V.乌萨切夫（Yury V. Usachev）坐在国际空间站的睡眠舱里。
图片来源：美国国家航空航天局

人需要隐私，需要从社交活动中抽身，这往往与“恢复本我”的需求

相关。我们在与人共处的时候，会带着难以长期维持的社交假面，而持续接触造成的情感衰竭使我们需要独处。长时间与人相处还会导致你从独处状态进入群体环境时，对自己的行为变得敏感。这反过来会使你越发想躲避人群，给别人留下你不喜欢他们的印象，进而使别人也躲避你，这会使你在想要与别人互动的时候越发难以交流。如你所见，一整套人际动态可以迅速地陷入失控的旋涡。

隐私是否必要还取决于人们要在封闭环境中生活多久。经验和研究表明，在短途旅行中，隐私有助于缓解压力和焦虑。然而，随着旅行延长到几个月甚至更长时间，过多的隐私反而会增大群体压力。即使人们可以在私人舱位里交谈，但问题仍然存在。很显然，长途旅行的群体动态要求有大量的社交互动，以缓解长期积累的压力。一些问题在社交互动的背景下原本能迅速解决，但是由于存在过多的隐私，人们可能会选择独自对着问题干着急。

在地球上，遇到人际问题的群体成员常常聚在一起讨论，最好还有受过相应训练的人加以引导。如果集体讨论让你觉得很不自在，你还可以与专业咨询师（或“虚拟咨询师”）进行私人对话。小题大做没有好处，但更糟糕的是任由情感和社交问题累积下去。

领地意识

与拥挤感和隐私需求相关的是领地意识。虽然人类的领地意识弱于很多其他生物，但问题依然存在。1938年，海军上将、南极探险家理查德·E. 伯德（Richard E. Byrd，1888—1957）在他的著作《独自一人》（*Alone*）中写道：

> 我认识两个住上下铺的人，他们互相怀疑对方偷偷地调整铺位侵占上面分配给自己的空间，最后干脆连话都不说了。在极地营地里，这样的小事足以将最循规蹈矩的人逼到疯狂的边缘。当我第一次在小亚美利加站（Little America）[注]越冬时，有个人陷入了遭

挚友迫害的妄想，已经处在杀人或自杀的边缘，为了避免悲剧的发生，我陪着他走了好几个小时。在那里，人无处可逃。不论走到哪里，你都被自己的不足和同伴的挤占包围。只有那些完全靠理性生活的人，才能带着一丝快乐活下来。

在登山和洞穴探险中，在潜艇里，在战争时期的很多情况下，这样的事情都曾经发生过。

对孤立群体的多项研究都发现了这种拥有和控制一定空间的需求（不仅仅是个人空间）。请回想一下你的孩提时代，尤其是你有兄弟姐妹的话。许多孩子在兄弟姐妹面前表现出强烈的领地意识，憎恨任何不请自来的人进入自己的房间，更不用说乱动里面的东西了。幸运的是，经验和研究也表明，领地意识一般仅限于公认归个人“所有”的空间，比如个人的卧室（或飞船上的铺位）和办公区。许多人用照片、书籍、海报和其他私人物品让这些空间带有个人色彩。在私人空间里，因领地引发的人际冲突通常发生在边界处。

涉及休息室等公共空间的领地问题有所不同。不同群体经常试图抢占最好的公共区域，所以他们的行为必须受到权威人物（比如舰长）的监督。优秀的飞船设计会让边界尽量清楚或者可调，从而最大程度弱化这个问题。可调边界意味着，一个群体可以暂时划出一片够用的专属区域，最后再把这片区域交还回去以便重新调整和分配。

文化差异

正如前文提到的，来自不同文化背景的人往往有不同的个人与社会期待、需要、观念、品位、宗教信仰和利益。这可能引发一些很有意思的讨论和思考（可以作为旅途中会议的议题），但起初还会引起不适、分歧、怨恨、敌意和其他紧张关系。事实上，群体动态中可能出现的一个最具潜在爆炸性的问题，就是在太空中发现有人是你绝对不能容忍的

某个组织的成员。

很多文化问题都会导致负面情绪，包括宗教信仰、如何对待女性、如何对待少数族裔、对隐私的态度、公开表露感情、工作和休闲活动等等。你要与同行者一起在飞船上生活几个月甚至几年，而他们很可能有着各种不同的信念和态度，所以大家越早适应文化差异，整个群体就能越早形成更为稳定、互助的关系。（除了这些需要处理的大问题，许多人还发现，在各个舱位紧挨着的航天器里，一些不起眼的小事，比如反反复复听同一个故事或听见有人掰动指关节，也能逼得人想要撞墙。）

文献报告了一些十分有趣和意外的群体研究结果。曾有一项研究关注的是在长期共同生活的群体内部，冲突与群体是同质还是异质、群体人数以及群体形成的时间长短有怎样的关系。同质或异质的判断标准包括群体成员的性别、国籍、年龄以及在类似情况下的经验。研究发现，较大的群体发生的冲突较少，而且令人惊讶的是，随着任务的推进，冲突趋于减少。也许最有趣的发现是，异质群体的冲突发生率低于同质群体。

为什么长期聚在一起的异质群体比同质群体运行得更有效呢？一种假说认为，同质群体最初抱着一种往往是错误的假定：群体成员都是“相似的”。因此，他们认为他们不需要像文化背景多样的群体那样，去讨论诸如政治、宗教、社会态度等很多事情。当起初同质的群体成员终于熟悉了彼此时，他们往往会发现各种差异和矛盾。问题在于，当这些真相暴露出来时，他们早已无法回头了。

如果在启程之前，你发现自己无法与群体成员共处，那怎么办呢？倘若各种各样的行前会议、讨论、咨询都不能让你放下负面情绪，那你还是等下一趟飞船吧。

领导

有效的领导关乎太空旅行能否成功。你们的舰长和机组人员都接受

过多年的训练，对错综复杂的航天器和太空旅行有着深刻的认识，其中有几个将是资深太空人。飞船承载着十几个人的性命，所以舰长肩上的责任重大。他可以采取多种领导风格，比如像海军军舰的舰长那样，全程拥有和行使最高权力，或者像会心团体（encounter group）的辅导员那样，提出建议，然后让群体成员跟着感觉走。

基于长期孤立群体的经验（不包括强制执行自上而下指挥原则的军队），舰长不应该总是扮演专制的角色。在非军事的隔离环境里，比如冬天的南极洲，如果独裁式指挥极少，群体成员可以自由从事各种活动，那么他们的表现会更好。

从舰长开始，各个层级的优秀领导者都要对群体动态很敏感。领导者会去学习如何最好地响应每个成员的需求。例如，领导者应该能够发觉小团体或派系的形成，确定新的群体动态总体上是否正面，然后决定是否需要干预，以防止问题在小团体内部及小团体之间愈演愈烈。即使你们的飞船受军方管辖，你们的舰长也必须是一个解决冲突的专家，这样才能保证飞行过程既愉快又安全。

相反，当飞船发生紧急或其他必要的情况时，比如要进入环绕目标天体的轨道或与另一艘飞船对接，舰长又必须能够迅速转入专制角色。你需要无条件服从命令，而在情况不紧急且时间允许的情况下，舰长也需要尽量做出详尽的解释。

另一种情况涉及蓄意篡权的人，也是你在旅途中应该警惕的人。在孤立群体中，有时一人或多人会争夺控制权，尤其是在其他成员退却的时候。未经许可而擅自取得权力的人会破坏群体，这是在太空里必须避免的事情。

压力

旅途中会有各种压力源。压力是人体对他人和环境需求的反应。不

论变好还是变坏，变化必然伴随着压力。压力的大小取决于具体情况，而且每个人的承压能力也不一样。即使是催人奋进的经历也会给人带来压力。一点点压力会促使我们提升工作表现，超越自我期待，有效地与人竞争。正如罗伯特·勃朗宁（Robert Browning）所说：“啊，若不敢为不可为之事，岂得至不能至之境？”[注]

当某种情况对你提出高于平时的要求时，你会感受到过度压力。压力来自我们生活的三个基本领域：人际关系、组织活动以及我们与物质世界的互动。

当察觉某种情况正在违背我们的愿望，威胁到我们的求生本能，或者超出我们有效应对的能力时，我们就会感受到过度压力。同样的压力源在太空里引发的负面反应可能要比在地球上更强烈。让我们做个比较。假设你正在开车，这时你感到车身一震，接着一声巨响，然后发动机停转，车灯熄灭，汽车停了下来。现在，想象你在一艘飞船里，突然你感到飞船一震，接着一声巨响，然后通风电机停转，照明熄灭。

面对过度压力，我们的大脑会做出下面某种典型反应：战斗、逃跑或原地不动。压力大也可能是特定疾病的症状，比如抑郁症、焦虑症和创伤后应激障碍。过度压力可能造成许多症状，具体如下：

- 慢性头痛。
- 心率加快，血压升高。
- 消化问题。
- 皮疹。
- 更加焦虑。
- 更加易怒和敌对。
- 疏远其他群体成员。
- 能量下降。

- 注意力下降。
- 参与或解决问题的动力下降。
- 生产力下降。
- 更疲劳。
- 需要更多隐私。
- 敌意。
- 无聊。
- 睡眠困难。
- 冲动行为。
- 过分担心自己的健康。
- 心脏病发作。

请记住，对于这里谈到的过度压力，经受者很少会出现所有这些生理或心理症状。

焦虑

我们都经历过焦虑：对某些事件或状况的不安、不确定和恐惧的感觉。（“正常”的焦虑水平以及与之相伴的生理和心理特征可以帮助我们渡过难关。）压力不是引起焦虑的唯一原因，其他潜在的心理疾病和生理问题也可能引起焦虑，比如抑郁症和药物戒断。

极度焦虑的主要生理症状如下：

- 口干。
- 气短。

- 喉咙发紧。
- 吞咽困难。
- 出汗。
- 心动过速——心脏快速或剧烈跳动。
- 小便频繁。
- 呼吸异常或不适（呼吸困难）。
- 呼吸急促（过度呼吸）。
- 恶心或呕吐。
- 胃痛、胃灼烧、反流。
- 头痛。
- 头晕眼花和晕厥。
- 震颤、痉挛、颤抖。• 疲劳。
- 腹泻。

极度焦虑主要的情绪和心理症状如下：

- 易怒。
- 失眠。
- 愤怒。
- 感到恐惧或灾难迫近。
- 极度怕死。
- 无法集中精力。
- 随境转移(注)。
- 惊跳反应加剧。

- 感觉事情是不真实的。
- 感觉事情不受你控制。

创伤后应激障碍

创伤后应激障碍已成为地球上的一种流行病，被派驻到冲突地区的许多士兵都是带病返乡的。在一个太空旅行群体里，极有可能出现一两个人，因为经历非常令人意外、震惊、混乱或不安的事件而患病。这样的事件包括打架、死亡、小流星体击穿飞船外壳等致命事件、导致关禁闭或被控制的精神崩溃以及地球上令人不安却无力改变的新闻事件。

创伤后应激障碍的症状通常在事件发生后的一至三个月出现，至少会持续一个月，有的甚至持续十年。这些症状包括：

- 反复做噩梦。
- 反复出现令人痛苦的侵入性想法、图像和记忆。
- 创伤性事件闪回。
- 对类似于原始创伤事件的外部或内部刺激做出激烈反应。
- 在头脑中重温原始创伤事件。
- 回避类似于创伤事件或让你想起创伤事件的刺激物。
- 睡眠障碍，比如失眠。
- 过度警觉。
- 抑郁。
- 易怒。
- 惊吓反应加剧。
- 社交和职业能力严重受损。

- 感觉与朋友疏远。
- 活动兴趣下降或者回避活动。
- 感觉人生已提前结束。
- 头痛。
- 胸痛。

旅途中的事件和刺激物也可能引起早先形成的创伤性应激障碍复发。例如，你曾在一家花店目睹过一次持械抢劫，后来你在飞船上闻到那次抢劫中也有的花香，可能会引发一次发作。

慢性焦虑和压力会引发另外一种更为严重的病症，这个病症有很多名称，比如慢性衰弱、神经衰弱、达科斯塔氏综合征（Da Costas’s syndrome）、神经性循环衰弱等等。一个人经历大约两个月的慢性焦虑或压力之后，就会出现下列慢性衰弱的症状：

- 疲劳。
- 动力降低。
- 胸痛。
- 心跳加快，有时心律不齐。
- 手脚湿凉。
- 头晕。
- 经常性叹气。
- 出汗。

在慢性衰弱患者看来，过去感兴趣的东西会变得枯燥乏味，患者的音乐品味和食物口味也可能改变。群体成员对彼此和地勤人员会失去耐

心。令人庆幸的是，我们有各种治疗焦虑症状的行为学和药理学方法，且这些方法在太空中应该也可以施行。

幽闭恐惧

封闭环境可能会引发幽闭恐惧症。除非你的飞船是极为高端的型号，否则你会发现，能够为你所用的空间比你待过的任何环境都要有限。有限的公共空间和个人空间会带来各种心理问题，其中常见的一种就是幽闭恐惧，也就是对封闭空间存有持久、强烈的非理性恐惧。

幽闭恐惧会导致焦虑、恐慌，还有危及本人、他人和飞船的冲动行为。如果幽闭恐惧发作时，你穿着宇航服，那情况将十分危急，因为在太空的真空环境里，你不能摘掉头盔。恐惧症是一种定义清晰的心理病症，发作时你的脉率会比平常快很多。对21岁至60岁的人来说，正常的脉率是每分钟60~75次。如果你在太空里出现恐惧症发作或本书描述的其他任何病症，或者看到其他人有出现生理或心理问题的迹象，你必须立即报告给能够诊断问题并提供帮助的人，这是为飞船的整体利益着想。

在启程前，你有必要了解自己是否易患幽闭恐惧症，因为在旅途的大部分时间里，你都不得不穿着封闭的宇航服，也找不到一个宽敞点儿的房间“伸伸腿”。测试方法有很多。美国海军让志愿者进入一个小型压力舱，将舱内压力增加到正常大气压的4倍，让志愿者有一种被全面包围的感觉，看他们是否会出现恐慌。针对消防队员的测试方法是蒙上他们的眼睛，然后让他们在一个狭小的空间里执行一个任务，比如在地板上找一样东西。还有一种方法是让被测试者穿上封闭的服装，比如头盔遮光板被涂黑的全套宇航服。

跟其他恐惧症的情况一样，一旦经历过幽闭恐惧，你可能会变得敏感，害怕再度进入封闭的空间。如果测试显示你患有幽闭恐惧症或其他恐惧症，而你还是迫切地想要进入太空，那你必须克服这种恐惧。在有

经验的治疗师的帮助下，你可以通过下列方法战胜恐惧：

- 再次暴露在让你恐惧的情境中直到恐惧消失（被称为洪水法）。
- 学习系统的脱敏技巧。
- 接受心理治疗，弄清楚恐惧的原因，学会怎样消除恐惧（认知行为疗法）。
- 观察临近舱位没有恐惧感的人，模仿他们的行为。
- 服用药物来抵抗恐惧症引起的焦虑。

即使你并没有严重的幽闭恐惧症，单是几个月或几年困在航天器里也会令你出现一些症状。

失神状态

如果你曾被催眠过，那你应该经历过失神状态。如果没有的话，那你会在太空旅行中经历一回。失神状态是一种定义明确的催眠状态。对南极洲越冬的研究表明，随着时间的推移，有些人会不由自主地进入这种状态，往往是由偏僻场所极度受限的环境刺激引发的。这种精神状态的变化也可能发生在长途太空旅行中。

进入失神状态的人会把幻想世界当成现实，正面和负面的幻觉都很常见。他会对周遭的现实视而不见，虽然看似对环境保持警觉，也有反应，但其实目光游移，思绪缥缈。有些幻想和幻觉还会诱发危及本人或他人的危险行为，比如在南极洲的几个偶发案例里，处于失神状态的人幻想自己在别的地方，于是走进一片冰天雪地里，结果被冻死了。

害怕辐射

你可能会对穿过身体的太空辐射产生恐惧，这种反应在地球上称为辐射恐惧症。任何一种恐惧症都会让人对尚未出现的恐惧对象产生焦虑，导致患者躲避致恐事件。然而，对太空辐射的恐惧并不是一种恐惧症，因为你完全有理由担心途中将会遭受的辐射。正如第7章所讨论的，飞船、宇航服、空间站还有天体表面的建筑物，都无法像地球大气层和地球磁场那样保护你。例如，在太空旅行中，当有粒子穿过你的视神经时，你会看到“星星”。日复一日地“沐浴”在可能致命的辐射中，又明知自己对此几乎无能为力，这会令人生出一种无助感，进而引发焦虑、抑郁甚至精神错乱。

感官侵袭

太空中会出现的心理和社交障碍的另一类原因与飞船和其他居住地的环境有关，尤其集中于处理输入信息的感官以及身心状况因此发生的改变。这里我把各种环境问题当作一个整体来描述，但是请记住，环境问题会引起多种反应，包括压力、焦虑、无聊和攻击性。

食物

在几乎所有孤立环境中，无论是一艘豪华游轮，还是南极洲，抑或是国际空间站，美味的食物（尤其是巧克力）最能让人高兴起来。然而，想想制冷所需的能量，你们的飞船不大可能配备大容量的冰箱和冰柜用于食物保鲜。尽管如此，自“双子座号”和“阿波罗号”宇航员从软管里挤食进餐、吃冻干冰激凌、喝Tang果珍[注]以来，太空食品已经得到了极大改善。现在的太空包装食品起码有了水分，可以让你尝到期待中的味道和口感。

在启程前选择食物的时候，你会面临两个复杂的问题：数量和种类。国际空间站每天给每个人提供1.25千克的食物。这些预制食品无须冷藏，有些已经脱水，吃的时候加水即可（就像你带去露营的食物）。人们刚刚进入太空的那段时间容易出现食欲不振，因为大多数人都在努力克服失重引起的恶心和不适。因此，不是所有的食物都会被消耗掉。随着食欲恢复，人们对可口食物的欲望会显著增强，但几个月后又会再次减退。

在离开地球之前制定菜单有利有弊。你当然希望在旅途中吃到喜欢的食物，但考虑到飞船上有限的载货空间，食物的品种和数量不可能达到大型游轮的水平。这样看，在离开之前花时间挑选你喜欢的食物是有道理的。然而，除了食量变小之外，许多宇航员还发现他们的味觉在太空中也发生了变化。这在一定程度上是因为微重力条件下体液分布的变化，前文曾经讨论过。特别是由于头部血液增加，你会持续出现流感症状，让你感到头重脚轻，味觉减退。飞船上的人造重力可以防止这个问题出现，但与你在地球上习惯的口味相比，你很可能还是想吃更辛辣的食物。好在多带调料比多带食物要容易。

气味

由气味催生的情绪范围很广，从欲望和饥饿到恐惧和厌恶。嗅觉是我们最不了解的主要感觉。我们之所以会进化出嗅觉，一是为了帮助我们找到附近值得拥有的东西，比如食物和伙伴，二是为了避开附近的危险，比如火灾或有毒化学品。对于那些我们通常无法唤醒的记忆而言，气味还是一种非常有效的唤醒手段。

在历史上，潜艇、船舱等封闭空间曾是出名的恶臭场所，现在情况已经有了改善。航天机构为控制航天器里的气味不遗余力，这令人感到欣慰。气味的一个常见来源是所谓的“脱气效应”。在塑料及其他工业品的制造过程中，会有分子松散地附着在产品的表面，而且过段时间就会脱落。例如，新车交付到你手上，你会闻到“新车的味儿”。你打开车门

和车窗，还有通风系统的出风口，最终这些往往还挺好闻的气味就会散掉。航天器的设计师会努力减弱脱气效应，但不是每次都能成功。

人体也会产生各种各样的气味，有的好闻，有的则不然。有些人的体味会令人却步，但这实际上取决于飞船的卫生纪律以及香水和香皂的使用规则。我们必须委婉而有效地处理这个问题，以免这些人遭到排斥和孤立。还有一点也很重要，那就是要避免摄入容易产生胀气的食物。

不幸的是，人类并不是未来太空居住地里唯一的生物。即使在今天，飞船里也有霉菌、细菌和其他微生物。如果达到一定数量，有些微生物会产生霉味，有些会引起过敏反应和疾病。故障设备常常会发出刺鼻的气味。例如，2002年，国际空间站的清洁设备出现故障，散发出一股怪味，迫使空间站里的人从部分设施疏散出去，直到故障排除、净化完成后才归位。

你的嗅觉可以作为一个预警系统帮助你发现异味，比如设备泄漏的气体。然而，在微重力环境下，许多人的嗅觉灵敏度会下降，至少部分是因为鼻塞加重。这样的好处是你会对刺鼻的气味不那么敏感，而坏处是你对好闻和危险的气味以及味道也不那么敏感。味觉之所以会跟着受影响，是因为嗅觉是味觉的一个主要部分。

温度

环境温度是影响舒适度的一个主要因素。让我们感到舒适的温度范围很小，而在这个范围之外的温度会引起不适。除了你的睡眠舱之外，飞船和太空中其他地方的环境温度不大可能受你掌控。由于人们的温度喜好不同，所以不可能让所有人都满意。我们对过高或过低的温度反应不同。如果空气太暖和，你可以选择少穿一些。当然，这在某个温度以下是管用的，而超过这个温度之后，你会开始出汗、口渴，想要更频繁地清洁身体。饮用水和洁净水的需求可不是小事，因为水在太空里是极为宝贵的日用品。

跟地球一样，太空居住地的温控方式取决于太空环境。在近地轨道上，或者当月球、小行星或彗星比地球离太阳更近时，太阳会为航天器或居住地免费提供热量。其实，如果不遮挡直射的日光或者采取人工制冷，这些地方将会酷热难当。在这种情况下，使用空调会消耗能源。如果产生能源所用的燃料必须靠航天器带过来，那么这些燃料就是不可再生的昂贵资源。国际空间站依靠太阳能电池板供电，能够精确地控制内部的气候环境。国际空间站每隔45分钟就会经历一轮暴热的白昼和极寒的黑夜，却能保持一个上下浮动不超过1~2摄氏度的内部恒温。

与居住地温度紧密相关的是湿度（在给定温度和压力下空气的含水量与饱和空气含水量的比值）。空气湿度过高或过低都会让人感到不适。湿度太低时，人的皮肤会变得粗糙干燥。湿度太高时，人会更容易出汗，导致霉菌迅速繁殖。尽管有一个令人舒适的相对湿度范围，但也不是对所有人都适用。

无聊和士气

你正在漫游太空，这太奇妙了！准备、发射、微重力、新的群体动态、高科技、太空的异域之美，所有这些都令人心潮澎湃。然而，几个星期后，新奇感消退，你的士气也会随之下降。自此，你和你的同伴将开始一种复杂的人际和群体互动。有些互动是积极向上的，有些则不然。群体成员彼此之间知根知底，以至于一个最不起眼的动作或言语都会让别人得出“明显”的结论，正如海军上将伯德在《独自一人》中所写：

> 两个人要彻底摸清彼此的底细用不着太久，而且，不管愿不愿意，他们早晚会把对方看透，只是因为在完成一天的简单任务之后，再没有什么别的事情可做，只能互相打量琢磨。既非故意，也无恶意。但总有那么一天，其中一个人再也没有什么可供对方琢磨

的了，即便是刚冒头的想法，对方也能立即看穿，他自己当成宝的好点子，在对方听来就是白费口水。

这里不涉及性别歧视，因为伯德的所有同伴都是男性。若以其他受限群体为参照，你可以预期无聊感会在进入太空几个月甚至更短的时间里滋生。你有没有过看电影看不下去的时候？这种情境性或反应性的无聊不在我们的讨论范围之内。

在漫长的旅途中，无聊可能会持续很久。它的症状如下：

- 感觉时间过得很慢（有时也称作主观时间，后文将详细讨论这个概念）。
- 感觉疲劳和困倦。
- 无法制订计划或努力达成目标。
- 用很多时间想自己。
- 一厢情愿。
- 幻想和做白日梦。
- 冲动。
- 过度睡眠。

无聊可能会比你认为的更危险。随之而来的做白日梦、幻想和冲动无时无刻不在困扰着你，诱使你做出不合规矩甚至危险的行为。例如，你可能会幻想走出去——哪怕只有一分钟，去闻一闻“太空”到底是什么味儿。这当然是不现实的，更何况这种心血来潮的“出游”是绝对禁止的。

长期的无聊感往往是由缺乏刺激和一成不变导致的。要克服无聊感，重点是在飞船上提供多种多样的活动，要有趣，更要有意义。换句

话说，假设在旅途中，你已经打通了27款你感兴趣的电脑游戏，那么再给你来一款新的游戏也没多大意思，但从事一个有益于团队的项目是驱散无聊的必杀技。事实上，主题派对和表演——比如音乐剧、戏剧或喜剧——也可以打破无聊，这样的活动在南极洲很受欢迎。太空行走，尤其是执行舱外任务——比如修理被撞坏的天线，一定不会让你感到无聊。唯一的问题是，如今很多宇航员都太向往出舱活动了，以至于任务指挥官时常很难把他们叫回来！

许多长期感到无聊的人都无法从“无聊之坑”里爬出来。正如前文提到的，飞船上一定要有受过训练的人，负责查看是否有人出现了负面心理状态或心理疾病的迹象。如果有，他要做这些人的工作，以免出现危及他们自身或整个旅行的危机。

无聊和士气都是十分重要的议题，因此可以想见，负责管理平民太空旅行的机构多半会要求人人都得在途中工作或上课。一直以来，这样的事务如果分配适度并认真执行，对宇航员保持士气非常重要。就避免和缓解无聊感而言，真的没有什么能代替工作和学习的作用了。还有一点也不必多说：建立和遵守一个常规的作息，这对保持心理的健康和稳定也至关重要。假设在不远的将来，这就是太空旅行的运营方式，那我强烈建议你抓紧时间，在你的强项和兴趣与你能得到的工作和教育机会之间，找到一个真正让你满意的“匹配”。[注]

体育运动也是抵抗无聊和改善心情的有效方法。飞船上将配备各种有氧运动和增强肌肉的锻炼器械，这些都有助于改善身心健康。

主观时间

通常，你对时间流逝的感知取决于你在做什么。读一本好书的时候，你可能读上几个小时却感觉没过多久，而当你开车去某个不熟悉的地方时，虽然实际上只需要几分钟或几个小时，你却觉得仿佛没完没了。我们大多数人有调整时间感知的习惯。随着太空旅行（或留在潜艇

等孤立环境里）变得更长、更复杂、更危险，时间会变得更加主观。我们已经确定了与此相关的7个因素：

- 如果发生意外，你们距离救援者只会越来越远，比一生中任何时候都远。在前往深空的路上，你们只能靠自己。
- 飞向未知的世界（这是初涉陌生环境的极端案例）。
- 依赖一个自给自足的环境（你们的飞船）。
- 与“文明”之间的沟通变得越来越难。
- 越来越依赖群体来满足你所有的生理、情感和社交需求。
- 越来越少依赖飞船之外的技术资源。
- 旅途中，随着供给减少，生命支持和娱乐资源越来越少。

时间可以变得很慢，慢到一分钟好像永远都过不完。这时，你会感觉自己是一个被困住的囚徒。在长途旅行中，人们越是互相隔离，这个问题就会变得越严重。

冲动

许多常见的心理问题和心理疾病都会导致人变得过分冲动，从理论上讲，这会对自己和他人构成威胁。就太空生活而言，这种自发行为最重要的起因是无聊。无聊会让人热衷于追求刺激或猎奇。另外，患有成人注意力缺陷多动症（ADHD）等疾病的人往往会变得很冲动。冲动的症状包括：

- 注意力极其分散。
- 很难让自己有条理。
- 很难倾听别人。

- 心神不定。
- 喜欢搞恶作剧捉弄别人（其中一些可能危害自己、他人和飞船）。

除了打扰别人和孤立自己之外，太空中的冲动行为还会造成灾难性后果。假如你只是出于好奇就冲动地按下一个没有标记的按钮，那结果会怎样呢？

思乡病

思乡是一种非常强烈的情绪，甚至能让久经磨炼的太空旅行者打起退堂鼓。事实上，几乎人人在旅途中都会害思乡病。思乡病有时刚一启程就发作，有时则潜伏起来，慢慢加重，直到患者永久或暂时脱离群体时才显现。思乡病有如下症状：

- 寂寞和孤独。
- 没有任何直接原因的悲伤和沮丧。
- 焦虑或恐慌。
- 不知所措或失控。
- 易怒和难以容忍他人。
- 对留在地球上的人感到愤怒和嫉妒。
- 睡眠规律改变。
- 暴饮暴食或食欲减退。
- 萎靡不振。
- 精神涣散。
- 喉咙发紧，胃部或胸部有压迫感。

- 觉得自己的味觉和嗅觉等感觉发生了变化。
- 怀念“在家”的生活，心心念念的都是家的环境和家人。

通常，忙碌起来、结交新朋友或者单纯靠时间的流逝就能治愈思乡病。可是，很多人的反应如此强烈，以至于变得抑郁和孤僻，开始有“出格”的行为，甚至酗酒和吸毒（如果能弄到的话）。不过，一般在心理咨询师的帮助下，即便是执行长期太空任务，孤独和思乡病也可以克服。

逃避和孤立

每个人都会时不时想要独处。然而，如果一个人基本上不与人联系，或者独处的频率、时长发生了变化，我们就应该予以关注。如果一个人只在必要的场合露面，或者逃避社交和亲密的情感联系，我们就需要提高警惕。很多状况和心理疾病都会使人出现社交和情感逃避，具体如下：

- 公共场所恐惧症（对人群的非理性恐惧）。
- 酗酒和吸毒[注]。
- 各种人格障碍，比如反社会型人格障碍、逃避型人格障碍、偏执型人格障碍。
- 抑郁症及相关疾病。
- 强迫症。
- 恐惧症。
- 精神分裂症。
- 失禁。

• 感官失灵，比如听不见或看不见（通常出现在老年人身上）。

跟这里所讨论的其他心理问题一样，飞船上要有一个人专门学习如何发现和处理这些问题，从而保证旅途的顺利。

沮丧和抑郁

与在南极洲等其他孤立环境中的人一样，我们可以预见太空旅行者也会经历抑郁期。在非孤立环境中，我们都时不时会感到沮丧或抑郁，例如考试成绩差，工作考核结果不理想，或者跟爱人吵架了。这些经历被称为情境性抑郁症，一般会持续几天或更短，待问题得到解决便会消失。太空旅行中也会有这样的情形。相比之下，被视作严重心理疾病的抑郁症，其程度通常要深得多，持续时间也长得多。这种长期沮丧被称为临床抑郁症。

临床抑郁症患者表现出很多情境性抑郁症所没有的症状。根据美国国家心理健康研究所（U.S. National Institute of Mental Health）的研究，每年有将近10%的美国成年人患有某种抑郁性疾病，大约25%的女性和将近20%的男性会在人生中的某个时候经历临床抑郁症。抑郁症不但在普通人群中常见，而且对很多宇航员、潜艇兵、在南极洲越冬的人和其他孤立群体的成员来说，抑郁症更是他们生活的一部分。

抑郁症被认为是由多种联动的因素和事件引起的：

• 家族遗传史。

• 童年和成年时遭受的身体、情感和性虐待，或者与双亲中一方的创伤性分离。

• 慢性、严重或长期的疾病、忧虑或压力。

- 焦虑。
- 糟糕的自我形象。
- 环境因素。
- 既往抑郁症发作。
- 终结性事件，比如因他人死亡或关系终结感到悲伤。
- 长期未解决的问题。
- 造成功能丧失或截肢的物理创伤。
- 一些处方药。
- 一些生理变化和疾病，包括心脏病、癌症、甲状腺功能减退、帕金森病，以及分娩期和更年期妇女身上可能出现的正常激素变化。

由于引发抑郁症的因素非常多，所以专家干预和诊断非常重要。抑郁症这个统称下又细分出各种精神疾病：

- 重度抑郁症，可以破坏一个人吃饭、睡觉、工作、学习和享受生活的能力。
- 心境障碍，一种破坏力较低的抑郁症，但同样影响一个人正常工作和享受生活。
- 双相情感障碍（旧称躁郁症），特征是抑郁发作与躁狂发作之间的剧烈情绪变化，循环过程可以很长，经过数周或数月，也可以在一天里完成（快速循环）。
- 循环性情感障碍，一种温和的情绪循环。
- 季节性情感障碍，也称“冬季抑郁症”，通常与日照时间缩短相关。

你可以从威廉·斯泰伦(注)的文字里体会到抑郁症的严重性。他这样写道：

> 抑郁时，这种对解脱和最终康复的信念是缺失的。痛苦永无休止，而让人难以忍受的是预先知晓治愈根本不会到来，不管是一分钟、一天、一小时还是一个月之后。即便有轻微的缓解，你也知道那只是暂时的，接下来还有更多痛苦。这种绝望比精神压迫还要痛苦。

抑郁症患者有时会出现完全相反的症状，这使得抑郁症等心理健康问题变得更加复杂。例如，有的患者体重增加，有的体重减轻；有的睡不着觉，有的总是睡过头；有的出现多种症状，有的症状很少。下面列出抑郁症最常见的一些症状：

- 易怒、心神不定（通常为早期迹象）。
- 感到悲伤、焦虑、空虚、绝望、悲观、内疚、无助或认为自己无足轻重。
- 对过去喜欢的事情丧失兴趣并退缩，如性、嗜好、朋友和其他活动。
- 失眠、睡过头、早醒。
- 疲劳、头痛、慢性疼痛、消化功能紊乱和其他常规治疗无效的身体症状。
- 与体重增减相关的食欲增减。
- 自杀意念。
- 精神病发作。
- 卫生变化。
- 行为变化。

上面列出的症状属于双相情感障碍，可以治愈。双相情感障碍的主要特征是抑郁与欣快或躁狂交替发作。即使经过筛选，飞船上某个人患上这样或那样心理疾病的概率依然很高。双相情感障碍躁狂发作的常见症状包括：

- 优越感。
- 精力显著增加，睡眠需求减小。
- 性欲增加，有时到滥交的程度。
- 极度易怒和咄咄逼人。
- 极其强烈的兴奋感，感到相互独立的事物之间的“联系”。
- 奔涌不断的思绪和滔滔不绝的谈话。
- 宏伟的想法，比如你已经解决了人类面临的一个主要问题。
- 糟糕的判断力和社交行为。
- 药物滥用。
- 觉得“上帝”正在指挥自己的躁狂行为。
- 精神错乱的行为和想法。
- 否认有问题，无法深刻认识自己的问题行为。

有时，双相情感障碍患者会同时出现躁狂和抑郁的症状，这种情况被称为混合状态或混合躁狂。这样的人情绪“低落”，但又有精力做出冒险和自毁的行为。因此，他们容易滥用药物，而且自杀风险高。

悲伤

如果你即将开始一段长途太空旅行，你需要对悲伤这种情绪有一定的心理准备。这种情绪可能根本不会出现，但也可能会。悲伤可以让人

无法抵挡。孩子过世了，配偶提出离婚，年迈的母亲刚刚摔伤了髋骨，最好的朋友掉下悬崖导致截瘫，此时，你仍然身处遥远的太空，还要再过六个月才能回家。你无法过去帮忙，无法表达或领受慰藉，也无法向朋友和家人倾诉。一想到这些，你会愈发悲从中来。

悲伤是人对不希望发生的改变做出的生理、情感、认知和社交调解，一般会经历伊丽莎白·库伯勒–罗丝(注)提出的五个阶段，但顺序可能与下面列出的不同：

1. 否认：“这不可能，我不会失去他们！”
2. 愤怒或怨恨：“这不公平，他们陷入困境是他们自己造成的。”
3. 讨价还价：“求求你，上帝，只要你把他们还回来，我会改的。”
4. 沮丧：“我失去他们了，不管是我还是其他人对此都无能为力。”
5. 接受：“我不会忘记他们，我要继续活下去。”

在最终接受之前，人们往往会在前四个阶段之间反复摇摆。人们应对悲伤的方式取决于文化和个性。有些人已经学会把悲伤留给自己，强颜欢笑，而有些人被教导要把内心的情绪表达出来。为了说明这种差异，让我们看看俄罗斯宇航员弗拉基米尔·德祖洛夫（Vladimir Dezhurov）的例子。1995年，他在“和平号”空间站上执行任务，在还有两个星期就可以返回地球那天，他的母亲因癌症去世了，而他无法回去与家人一起悼念母亲。同在空间站的美国宇航员诺曼·萨加德（Norman Thagard）好心安慰他，却引得他悲痛欲绝。在别人遭遇不幸时给予安慰，这是美国人的习惯，但却会让俄罗斯人极其反感。尊重文化差异十分重要，而同样重要的是，你要明白，你不必独自承受悲伤。

四分之三现象

已有不少人度过漫长而孤独的太空旅行，他们的经历表明，大多数人在旅途中早晚都会经历显著的士气低落。这通常发生在旅行已过四分之三的时候，因此得名“四分之三现象”。奇怪的是，不论旅途长短，这种现象总会发生，其征兆包括压力增大、团队不和及破坏行为。

在这段时间里，人们一般不会陷入抑郁，而是对这次冒险从兴奋转变成腻烦。思乡病以及无聊和睡眠问题都会加剧。这个阶段通常会在旅行接近尾声时结束，那时人们开始憧憬回家的美好景象。通常情况下，返航六个月之后，人们就会忘掉那段低迷的四分之三现象期。

遵守规则

太空是人类经历的最凶险、最困难、最严酷的环境，但曾经深入洞穴或登上高峰的人可能不这样认为。为了生存，你们需要在飞船内部和太空其他地方确立人人必须严格遵守的行动和行为准则。违反规则可能会酿成灾难性的后果：人员死伤，航天器和居住地遭到破坏和摧毁。

众所周知，人对限制自己行为的规章制度会有不同反应。同样，个体在太空里遵守规则的程度也有不同。当然，在某些航段的准军事化氛围里，指挥风格和预期反应都是非常明确的，而在有些航段可以容忍稍微宽松的规则和反应。

任何太空任务都存在危险，所以有时候舰长的命令需要你立即、完全、无条件地服从。军事人员对这种行动方式习以为常，但普通人明显不适应。太空旅行可能关乎生死，这要求你必须学习和遵守旨在保护你和他人安全的诸多规则。尽管如此，飞船上还是可能有人因为精神压力或疾病发作而违反规则，危及飞船的安全。因此，至少有一部分机组人员要接受训练，学习如何处理此类问题。此外，飞船会有各种内置的基础安全措施，以防在最恶劣的情境下造成死亡和破坏。这些措施包括两

人同时激活才能使用的气闸舱、控制飞船的计算机、非授权人员不得进入的区域、在发生破坏或有人试图闯入飞船禁区时会发出预警的传感器。换句话说，“老大哥”会看着你的。飞船上会有数不清的传感器和摄像头，供机组人员和地面控制人员监控所有的飞船活动。失去隐私？是的，你必须得适应，这是为了保障你自己以及其他旅行者的安全。

---

1. 有趣的是，现在的“虚拟人”软件能够针对各类问题提供有效咨询。这个软件最初是为了帮助患有创伤后应激障碍（本章后面还会谈到）的士兵。借助这个软件，你能够与计算机生成的真人图像对话。这个图像的面部表情非常逼真，你很容易就会忘记你是在与计算机对话。此外，虚拟人数据库十分完备，虚拟咨询师可以针对几千个问题提供有意义的答案。

2. 计算过程：每人每年发生0.03个心理疾病事件×12人×3年=1人。

3. 乔恩·克拉考尔（Jon Krakauer，1954— ），美国作家、登山家，是1996年珠峰山难的亲历者。

4. 小亚美利加站，指美国从1929年至1958年在南极洲建立的小亚美利亚探索基地。

5. 引文出自英国戏剧家、诗人罗伯特·布朗宁的戏剧独白诗《安德烈·德尔·萨托》（Andrea del Sarto）。

6. 随境转移，原文为“distractibility”，指注意力极易被无关事物和想法吸引。

7. Tang果珍，美国国家航空航天局为一些早期载人太空任务选定的饮品。

8. 这里的“工作”一词用的是它的一般意义，不特指你在地球上从事的专业工作。到了太空，你可能会选择学习某个新领域的知识，并将所学应用到太空中。

9. 毒品和酒精属于太空禁品，但据称，曾有人违规带到飞船上。

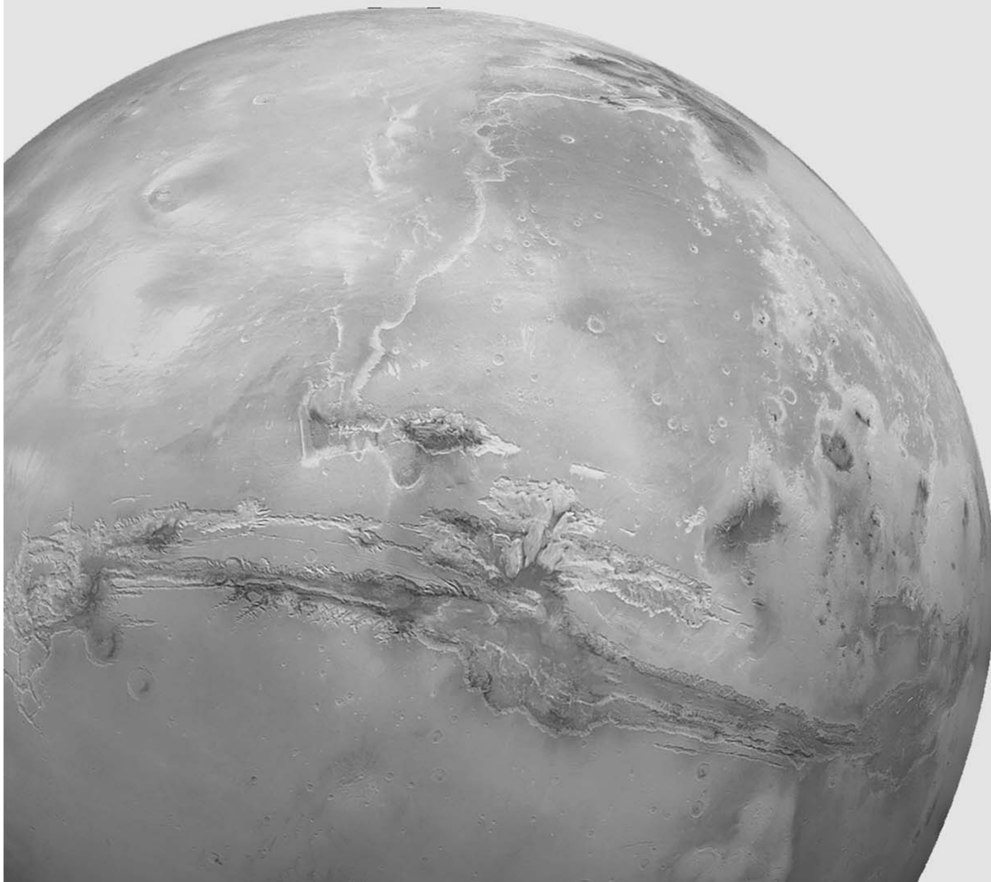
10. 威廉·斯泰伦（William Styron，1925—2006），美国作家、散文家、普利策奖获得者，代表作有《苏菲的选择》（Sophie’ s Choice）、《南特·透纳的自白》（The Confessions of Nat Turner）等。他是严重抑郁症患者，自杀是其作品中常见的主题。在后期最著名、最畅销的作品《看得见的黑暗：疯癫回忆录》（Darkness Visible: A Memoir of Madness）中，他直面自己的抑郁经历，希望以此提高人们对抑郁症的认识，减轻外界对严重抑郁性心理障碍和自杀的污名化倾向，下面这段文字便出自这本书。

11. 伊丽莎白·库伯勒–罗丝（Elisabeth Kübler-Ross，1926—2004），瑞士裔美国精神病学家，濒死体验研究的先驱者，著有《论死亡与临终》（On Death and Dying），她在书中提出的库伯勒–罗丝模型描述了人面对悲伤与灾难的5个独立阶段，后来广泛流传。



第三部分

充分体验太空



第9章

经历太空万象



在前面几章，我们曾谈到你前往不同目的地可能会经历的各种事情，本章将深入探讨这些经历。让我们从亚轨道飞行谈起，但在此之前，请想想你在旅途中最常做的一件事，那就是拍照。

太空摄影

在外太空，无论你去哪里，摄影都必然是一项重要的活动。我预计会有三种类型的太空相机，既可用于固定摄影，也可用于录像。第一种是平板电脑或等效设备。只要你所处的环境允许你点击按钮，你就可以使用这种设备，并用语音或自拍杆控制。事实上，第一次太空自拍发生在20世纪60年代（见图9.1）。在航天器或居住地之外用平板电脑而不是手机拍照的好处是触摸屏足够大，即使戴着笨重的手套，你也能准确

地点击上面的“按钮”。



图9.1

1966年，宇航员巴兹·奥尔德林（Buzz Aldrin）在“双子座12号”（Gemini12）飞船上自拍。2014年，他发推特说：“你知道1966年我在‘双子座12号’任务期间第一次自拍了吗？那可是有史以来最好的自拍。”
图片来源：美国国家航空航天局

第二种太空相机类似于高端的传统电荷耦合器件相机（CCD相机）。相比平板电脑，这种相机的镜头更长，使你可以拉近镜头，拍摄高分辨率图像。

第三种相机被称为立体相机或三维相机。你的双眼由于视角的细微差别，可以向大脑发送同一观察对象的不同信息，大脑根据这些信息计算出你与观察对象之间的距离。也就是说，一对健康的人眼看到的所有东西都是三维的。所谓立体相机，就是用间距为眼距的两个镜头同时拍摄，得到的两个图像通过目镜分别传入你的左眼和右眼，然后大脑将两个图像合并，你便会看到三维图像。

1833年，查尔斯·惠斯通爵士[注]发明了能够同时拍摄两个图像的立

体相机。当我们的大脑接收到双眼各自传来的图像时（通过立体镜、有色眼镜、偏光眼镜或更现代的技术），我们便会看到深度——第三个维度。如果你曾玩过虚拟现实眼镜View-Master[注]或看过3D电影的话，你会知道平面照片和三维图像的区别。我从20世纪60年代开始拍摄三维照片，我敢说这项技术是有价值的。

各种类型的相机拿到太空中使用时都会有几个潜在的问题。第一个问题是航天器和居住地内外的巨大温差。宇航员要忍受的最高温度是107℃（请记住水的沸点是100℃），最低温度大约是零下184℃。如果从航天器、空间站或居住地走到外面去，你会在几秒钟里经历175℃的温度变化。照相机和平板电脑的所有部件都必须能够经受这样急剧的温度变化。

另一个问题是，穿过照相机的宇宙射线会在图像上留下条纹。当宇宙射线穿过一行像素（数码相机的感光单位）时，像素会像受到正常光线照射时做出反应，从而形成条纹。计算机软件可以去除大多数条纹。另一个补救办法是用相机对同一目标连拍三张照片。即便每张照片都有宇宙射线穿过，但穿过的位置很可能不同。这样，我们可以使用软件去除有条纹的部分，然后用另外两张照片中未被污染的区域来填充。

现在，让我们来探讨每一种太空旅行。

亚轨道飞行

过山车跟亚轨道太空飞行比起来根本不值一提。你进入太空的首次加速会激发你的各种情绪。你感觉自己好像被身后的火箭突然狠狠地拽进座椅里，如果此时你的心里突然生出别样的思绪，可不要感到惊讶：

> 哦，上帝啊，我真的要上天了！
>
> 一切都在按计划进行吧？

如果……

我等不及要进太空啦！

最后这句提出了有趣的一点。对你来说，太空旅行的每个阶段和每个事件都将是全新和独特的体验，因此，“用心感受那一刻”是体会和记住所有太空经历最有效的方法，适用于所有太空旅行。不要担心接下来会发生什么！在旅途顺利的情况下，你越是用心感受某个时刻，你就越能更好地重温这一刻，并且铭记一生。例如，在升空阶段，你要让自己感受到作用在你身上的力。你要试着移动身体，感受那些振动，收听无线电里的闲谈。那时，你的所有感官都会超时工作，让你尽可能多地获取和保留这些信息。

如果升空时你正在收听无线电通信或者看屏幕上的飞行时间表，你就会知道火箭“点火”何时会结束。火箭熄火后的3~5分钟左右，你将开始在卡门线以外沿抛物线飞行，进入失重状态。在这段身处太空的短暂时间里，你可以在几秒钟内解开安全带，把自己推出座椅，然后在舱内自由地飘浮。

要想尽兴，你还需要做一件重要的事情：到舷窗旁去看看地球。按照所有报告的说法，从太空看地球会让人无法呼吸，并且会对你产生深远的影响。你将看到大块陆地，上面有些城市你或许能认出来。如果你目光所到之处恰好在你的家乡附近，你可能会想要寻找家乡的位置。请用力看所有东西。你乘坐的航天飞机可能有许多舷窗，这样，每个人都能从不同方向朝外面看。事实上，太空旅行公司可能会有这样一条规定：你在某个舷窗向外看1分钟后，必须飘到另一个舷窗去看另一个方向的太空景象。这些景象将伴随你一生。

如果你在夜间飞行，你会同时看到世界各地不计其数的灯火。你会感到，地球上的人类以一种你在地球上感受不到的方式联系在一起。当你把地球看作一个整体，不同文化、宗教、派系、国籍和语言将失去一切意义。

在失重飞行阶段，你差不多会一直待在舷窗旁向外看。不过，太空旅行公司可能还会为你安排一些失重体验活动，包括：

- 经历本体感觉障碍，比如让你伸手拿东西。
- 让大家从不同的方向互相看彼此——你面前的脸，嘴巴在上，眼睛在下，这会很“有意思”。
- 让每个人围绕自己的垂直轴或穿过腹部的任意一条轴线旋转。
- 尝试接住别人推过来的食物。

太空性行为会让一些太空旅行者神往。在亚轨道飞行期间，只要你穿着宇航服，那么性行为将局限于亲吻和抚摸。如果要进行更亲密的接触，你会面临一个问题，那就是没有足够的时间脱衣服——你只有4分钟的失重时间。即便你穿着日常服装或者比平常穿得还少，你在亚轨道飞行中成功性交的可能性也不大。这有几个原因。首先，上升过程的超重状态可能会影响男性快速勃起的能力。在微重力环境下勃起（或许在发射前服用伟哥）和实现身体结合是非常具有挑战性的。无论什么时候，只要你推对方，你们俩就会分开，因为没有重力“固定你们”。

如果你想在微重力环境下速战速决，那你有两个选择。一是在航天飞机里策略性地安装各种把手、捆绑带和腰带。在整个性交过程中，你和你的伙伴必须借助这些装备来保持亲密。第二个选择是用一个大袋子把你们俩紧紧拢在一起，或者也可以用网袋，这样可以避免幽闭恐惧。无论用哪种方法，本体感觉缺失都会是一个挑战，你可不想在伸手碰对方的时候因为动作过大而打到对方。跟生活中的许多事情一样，你在地球上能做的最好准备就是练习，练习，再练习。

一旦后勤装备条件允许人们在亚轨道飞行中性交（也就是不需要穿宇航服），必定会有无数公司开始设计开发辅助太空性交和增加快感的

产品。这里要注意一个问题：航天飞机很小，如果你想在相对私密的条件下做爱，你就得把整架飞机包下来，还要在飞行员身后安装一道隔离屏。

太空性行为还有一个安全问题。一旦你乘坐的航天飞机进入抛物线飞行阶段（即无动力飞行阶段），它的飞行路径和失重状态的持续时间便已确定。例如，你可能有4分47秒的微重力时间。之后，随着机翼插入大气层，你会飘落到机舱底部。这时，即便你或你的伙伴即将达到高潮，你们也必须回到座椅上。不过，你们可能真的不愿意分开，但减速可能会使你们受伤，具体情况取决于航天飞机减速的快慢。

对亚轨道飞行来说，返回地球将是太空旅行中另一个独特的经历。由于失重，你可能意识不到，航天飞机已经上升到飞行的最高点，也就是远地点，并且开始朝着大气层下降。随着航天飞机深入大气层，空气密度变得越来越大，飞机外壳与机翼受到的空气阻力会使飞机减速。这之前你一直处在飘浮状态，所以不会跟着飞机慢下来，[注]所以看起来你会飘向飞机的底部。此时，你会收到返回座位并系好安全带的指令，因为飞机要在几分钟内开始大幅减速，在此过程中，你会再次感到自己被狠狠地压进座椅。

下降返回地球是一个无动力的滑翔过程，飞机减速主要靠的是机翼，然后由飞行员或计算机操纵降落。突如其来的风和其他气象问题会造成航线偏离，所以你可能要留出一些储备燃料，用来修正航线。

你会以一个较小的夹角进入大气层，这样空气摩擦产生的热量就可以分散到面积较大的机翼和机身底部。因此，这段飞行会持续很久，你下降的速度会越来越慢。随着你接近地球，舷窗外的景象会从整体变回局部——单个城市、小镇、农田、道路、车辆等等。经过如此对比，你在外太空形成的地球印象和人生感悟会更加刻骨铭心。

着陆后，一辆拖车会连接到航天飞机上，然后像拖拽客机一样，把航天飞机拖进航站楼。在那儿，你将与朋友和家人团聚。庆祝活动即将

开始。

环地空间站和更遥远的目的地

与亚轨道飞行相比，进入绕地轨道需要大功率火箭。事实上，一枚装备齐全的火箭将驮着你乘坐的航天器飞向空间站。这是目前我们发射航天器到国际空间站和更远目标天体的方法。如前文所说，火箭载着你进入初始轨道（位于卡门线两倍的高度）的过程总耗时只有8分钟。由于许多绕地轨道以外的太空游都需要先到达环地空间站，所以本书这部分内容适用于亚轨道飞行以外的所有太空旅行，但也有例外情况，比如阿波罗登月计划，出于技术原因，我们需要把航天器从初始近地轨道直接送到绕地轨道之外。

与亚轨道飞行相比，进入近地轨道需要更大的加速度。探讨如此剧烈的加速度对人体的影响会很有趣，比如在超重的升空阶段抬手或抬腿。根据运载工具的不同，火箭外面很可能布设多个摄像机，这样你就可以看到地球远去的现场图像。今天，你可以通过观看相关网络视频感受那些激动人心的时刻。但是，从飞船内部观察升空过程，这会把你带入一种完全不同的体验。

上升进入轨道的过程包括多级火箭点火。每完成一级，用过的硬件就会被抛掉。在此过程中，你仿佛能“感觉到”自己正在摆脱地球的束缚。与此同时，你还会感到飞行方向的变化。飞船飞得越高，飞行方向就变得越平，直到飞船达到在轨速度，开始环绕地球飞行。

在亚轨道飞行中，乘员应该在进入失重状态后立刻离开座椅。然而，当你进入初始近地轨道时，舰长会要求你系好安全带。这是为什么呢？因为如果一切顺利，几分钟后，你就要在火箭推进器的推动下从初始轨道出发，前往目标空间站，并且在5个多小时后开始与空间站对接。不过，如果这段飞行因技术问题出现拖延——过去确实发生过，那么在解决技术问题的时候，你可以解开安全带，在初始轨道上飘浮。

无论如何，当飞船与目标空间站或者中转空间站（地外太空旅行时会用到）对接时，你肯定会经历微重力。假设我们还没有开发出完全有效、不引起嗜睡的抗太空病药物，那么你会有几天感到不适，我们在第4章讨论过这些内容。根据后勤条件，你可能要在空间站克服太空适应综合征之后，才能继续上路。如果有药物可以帮助你消除这些症状，那么适应微重力的过程显然会变得更加轻松愉快。但即便如此，你还是会经历第6章描述的身体调整。当这个过渡期也结束时，好戏开始！

你将会看到令人沉醉的地球景象（见图9.2a）。你所在的高度远远高于最远的亚轨道飞行，所以你的视野会更加开阔，你眼前的景象也会更加壮观。与亚轨道飞行不同，你还有机会看到地球几乎每个地方的日景和夜景。你可能想边看边发朋友圈，因为地球上许多人会盼望我们实时提供新鲜的地球景象。或者，你会把你的经历悄悄记录下来，以便在旅途后期或回家之后润色、出版或发博客。

不管你去哪里，每次太空旅行都会组织与微重力相关的各种趣味活动。实际上，几乎每件事情，你做起来都跟在地球上不一样。



图9.2a

意大利、亚得里亚海（Adriatic Sea）和伊奥尼亚海（Ionian Sea）东岸国家的夜景。照片从国际空间站穹顶舱（见图9.2b）拍摄。
图片来源：美国国家航空航天局

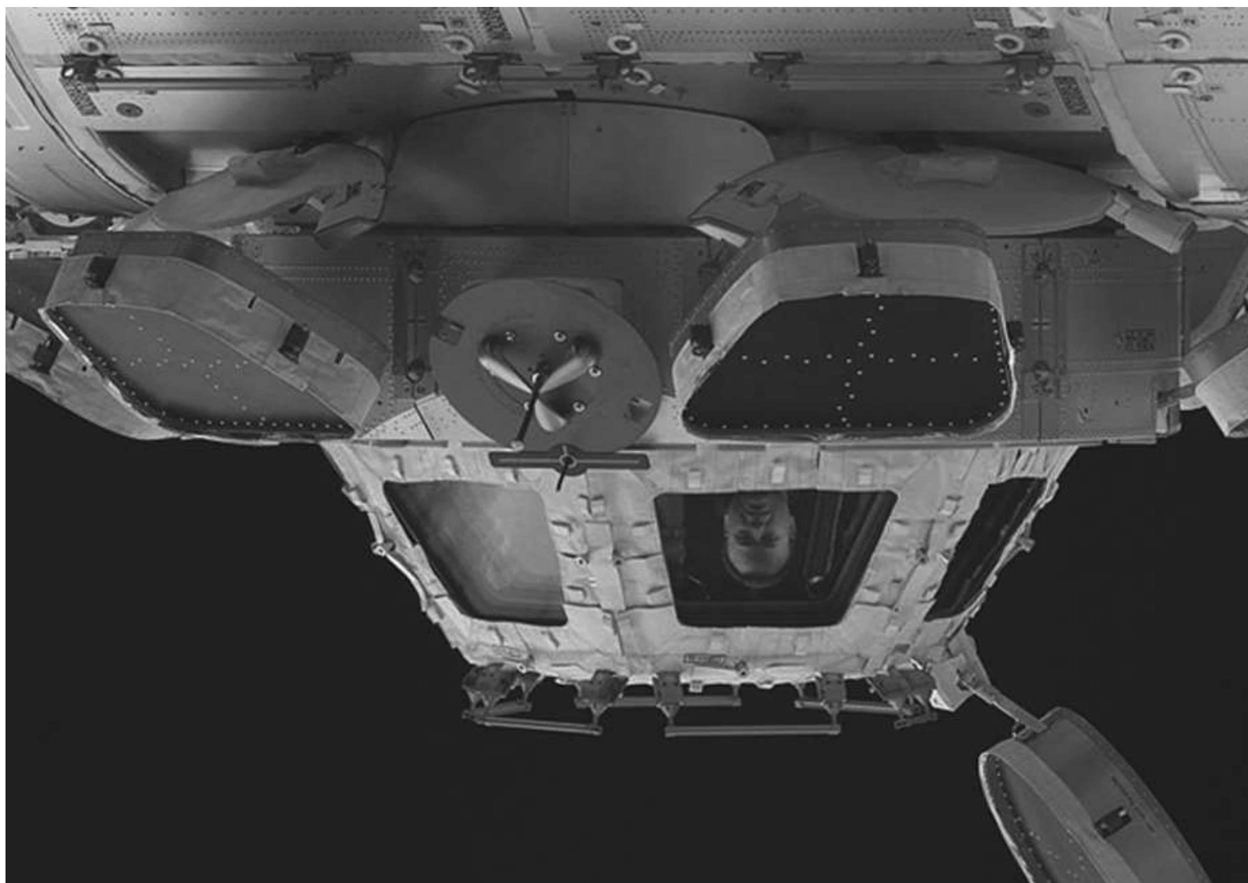


图9.2b

用来观察地球的国际空间站穹顶舱。
图片来源：美国国家航空航天局

在太空里进食

在第6章，我们了解到在太空里进食与在地球上进食有很多不同。不管食物看起来或者吃起来有多么难吃，进食的整个过程还是非常有意思的，例如：

- 食物在你面前飘着，你可以拿起来吃，也可以把身体靠过去吃。
- 把倒置的食物容器放在头顶，你不是拿起食物，而是把食物拉下来。

• 其他人可以轻轻地把食物推给你，然后你用嘴接住。

• 你可以把液体放进第6章描述的特殊设计的杯子里，然后把杯子倒过来，液体不会流出来。

• 你可以从特别设计的杯子里喝水。

• 为了让食物更有滋味，你可以多放适合的调料，多到你在地球上想都不敢想。

顺便说一下，盐、胡椒粉、糖、辣椒等粉状调料都将以液体形式存放，这样才不会被你一不留神吸进去或撒进眼睛里。事实上，对于所有正常情况下会掉屑的食品——比如普通面包，我们要么重新加工成不掉屑的食品，要么寻找替代品。例如，普通面包掉下来的面包屑会四处飘浮，所以我们用不怎么掉屑的玉米饼来取代它。

在微重力环境下运动

太空适应综合征消失后，适应微重力也可以带来很多乐趣。在微重力环境中，你停止运动时在什么地方，你就会一直留在那里。换句话说，如果你飘浮在一个房间的中央，与任何一面墙都保持一段距离，那么你就会一直在那儿。同样，如果你正飘浮着，有人推你一下，使你沿着身体的垂直轴或者任何轴线旋转起来，那么你就会一直转下去，直到有人阻止你或者你撞到东西为止。一个特别有趣的事情是探索微重力条件下的角动量守恒（conservation of angular momentum）。我们用角动量来量度旋转产生的能量。这里说的旋转既可以是围绕穿过你身体的一条轴线旋转（自转），也可以是围绕其他物体转圈（公转）。角动量具有守恒的性质，也就是说，只要物体的自转或公转不受外力影响，它的角动量就不会改变。这意味着，在微重力条件下，除非你撞到东西或者有人抓住你，否则你转起来时获得的角动量会一直不变。

在地球上，对角动量守恒体会最深的人是花样滑冰运动员。例如，

奥运会花滑表演的收尾动作常常是这样的：运动员伸出双臂和一条腿，然后绕着自己旋转。随着运动员收回手脚，根据角动量守恒定律，他会越转越快。在微重力条件下，你也可以这样做。例如，双手举起同样重量的物体，伸出双臂，让别人帮你转起来，然后慢慢地收回手臂，你会开始加速旋转。手上物体的重量越大，你最后达到的转速就越快。想要慢下来，请再把手臂伸出去。想要停下来，请让别人一边抓住锚定物，一边抓住你的身体。如果没有锚定物的话，拉你的人也会被你带得转起来。

另一种探索失重状态下角动量守恒的方法是把手臂伸过头顶，同时伸展双腿，就好像举起手臂站立那样。然后，让别人推你一把，让你绕着腹部转动，好像一支在桌子上旋转的笔。之后，收起你的手臂和腿。你的四肢离旋转轴越近，你旋转的速度就越快。

在微重力环境下还有一个有趣的游戏值得体验：像超人或女超人那样在房间里飞来飞去。如果你蹲在墙上，轻轻一蹬，你就会飞到房间的另一头。在熟练之前，你可不要蹬得太猛，因为你的身体即便在微重力条件下也具有线性动量。线性动量用来衡量你沿直线运动时具有的能量。因此，如果你飞得太快，当你伸手去碰对面的墙壁时，双臂便无法起到缓冲作用，你会伤到自己，还可能撞坏设备。一开始时，你需要慢一些，让身体一点点适应，这样才能逐渐飞得轻松自如。你的朋友和家人会很喜欢跟你通话。想象一下他们会跟朋友说："我跟我妈通话啦！她在太空呢！我俩说话那会儿，她就飘在空中，还转圈呢！"这会迅速红遍网络！

在太空里剪发和护肤

在太空中梳洗打扮可能有些困难。如前文所说，微重力环境里的碎屑和灰尘会成为潜在的问题，因为它们可能进入你的眼睛和肺部，还可能进入食物和敏感设备里。如果你剪发或者剃头，那么剪下来的头发必须用真空吸尘器吸走，以避免它们干扰航天器里的设备。同样，你不可

以携带粉状化妆品，但可以使用膏状化妆品。请记住，在微重力环境中，人的头发会飘起来，这常常会形成非常有意思的画面（见图9.3）。



图9.3

国际空间站里，宇航员玛莎·伊万斯（Marsha Ivans）飘散起来的头发。
图片来源：美国国家航空航天局

太空天文学

你或许并不喜欢观察天体，但在空间站、宇宙飞船或目标天体上，你可能有机会通过高倍望远镜观察月球、行星和其他天体，这说不定会让你有所改变。与从地球上观察相比，从太空观察天体有两个明显的优点。

第一个优点是没有大气层和云层的太空是一片连续的黑暗，所以你

在太空中可以随时观察天体。除去被地球、月球、太阳、火星或小行星暂时遮挡的时候，天体都是持续可见的。即使是观察离太阳很近的地方，在太阳被遮挡的前提下，你也能够看到在角度上接近太阳的恒星和行星。绝对不能从地球或太空直接观察太阳，一定要使用合格的滤光镜，因为即使在日食期间，仅仅看上几秒，负责感光的视杆细胞和视锥细胞也会受到永久损伤！

第二个优点是太空中没有空气，不会像地球大气层那样扭曲天体的图像。太空天体的光必须穿过地球大气层才能到达地球表面。但是空气在不断运动，我们从吹来的风就能知道。这种运动是由不同地方、不同高度之间的空气密度差引起的。空气密度较低的地方，周围的空气就会流进来，反之亦然，从而形成风。密度差就像透镜一样，会使穿过空气的光线改变方向。空气不断上下左右地运动，空气密度随之不断变化，使得穿过大气层的星光不断改变方向，我们最后看到的结果就是闪烁的星光。同理，在炎热的天气里低头看路面时，你会看到路面好像在闪光。从地球上看，闪烁会使太空图像变得模糊，不容易辨认。从太空里看，天体完全不会闪烁。

在太空中，你一定要尝试去观察下面这些天体：

- 地球
- 地球大气层中的极光和流星
- 月球
- 太阳（通过一个特殊透镜）
- 火星
- 木星
- 土星
- 银河系

- 仙女座星系
- 麦哲伦星系
- 猎户座分子云
- 任何活跃彗星
- 昴宿星团和其他疏散星团(注)
- 一个球状星团

太空行走

购买一个包含太空行走的旅行套餐虽然要贵很多，但值得考虑。我在后面马上会讲到在不同目标天体上的太空行走，所以这里讨论的是在空间站和飞船之外的太空中怎么飘浮。如果你买下这个套餐，那么你会在行前接受水下训练。我们在第4章讨论过水下训练，以及你在穿上宇航服之前要进行的减压准备。太空行走期间，你需要贴一张防吐皮肤贴，以防你在宇航服里呕吐。会有绳索把你系在空间站或飞船上，这样，你就可以放心地在外面待上几个小时。请记住，“太空行走”这个说法容易产生误解，因为大部分时间里，你是飘着的，而不是真的在走。其实，你还是有机会进行真正意义上的太空行走的：在靴子里放入磁铁，再为空间站或飞船加装一个吸磁表面，你就可以走起来了。如果需要的话，还可以提供一根钢丝让你握着。在太空行走时，你可以尝试做下面几件事：

- 看看地球——你围绕地球运动时看到的景象是最震撼、最令人难忘的。
- 如果你处在绕地轨道上，那么地球就在空间站的正上方。换句话说，从地球上看，空间站是上下颠倒的。因此，在空间站，你必须仰头才能看到地球。

• 在保护绳索的长度范围内，尽可能往太空的远处飘。

• 如果除了飘着你没有其他事情做的话，那么从事一些简单的机械活动，比如用扳手拧螺丝钉。过程未必顺利，但会很有意思。

在旅途中工作

建设性工作对享受长途太空旅行至关重要。正如第8章提到的，前往地月系统之外的旅行可能会非常无聊。即使你选择不做任何日常工作也可以——毕竟你正在休假，但如果在旅途中参与一些研究工作，这可能有利于你保持稳定的心态，还能对太空旅行开发事业有帮助，而这项研究的出资方很可能会付给你报酬。想想在你之前只有很少的人到过太空，所以几乎每个领域都有研究的空间。例如，一家制药公司可能正在测试一种改善太空味觉的药物，这种药物需要进行“双盲实验”。一盲指的是，实验对象中的一半人摄入该药物，而另一半人吃的是对身体没有任何医学影响的安慰剂。另一盲指的是，负责执行实验的人（给你药片，贴药贴，还有收集你的信息的人）不知道你吃的是药物还是安慰剂。你就把你的参与看作对人类认识大自然的贡献吧。

太空性行为

性将会是太空生活的一部分。20世纪80年代中期，我到加州莫菲特场（Moffett Field）的埃姆斯研究中心[注]担任夏季访问学者。美国国家航空航天局的某位高层领导向我们介绍了当时太空探索的整体情况，之后开始回答我们的问题。第一个问题是：“在太空想做爱怎么办？”

“那就做吧。”他回答说。

我没有跟任何一个宇航员朋友探讨过太空性行为这个话题，也没有人主动提供这方面的任何信息。这一直是一个“不要问，不要说”的话

题。但在如今这个时代，随着商业太空旅行起步，如果看到“我在太空里做爱了”或者“我现在是400千米高空会所的会员呢”这样的博客标题，我不会感到惊讶。

不幸的是，在这之前有一个与勃起相关的潜在医学问题，而美国国家航空航天局可能知道答案。让我们回顾第6章有关血液和其他体液在微重力环境下重新分布的内容。勃起由血液流入阴茎引起，那么太空中体液的重新分布会不会影响阴茎的勃起能力？如果答案是否定的，那么……就没问题了。如果答案是肯定的，那么必须给男性准备抗勃起功能障碍的药物。同样，女性在性交时会分泌液体来润滑阴道，而这种液体也来自血液。如果微重力条件下体液重新分配造成润滑液减少，那么还需要为女性准备阴道润滑剂，让她们充分享受。

如果能克服此类“技术性”问题，你将可以尽情地在太空中做爱。还有机械辅助工具可以把你和你的伙伴拢在一起，我们在本章谈及亚轨道飞行时介绍过。另一个选择是你们俩钻进两层有弹性的床单中间，而床单要牢牢地附着在固定于某个表面的床垫上。事实上，你在太空的工作之一很可能是寻找更好的性行为辅助工具。欢迎入会。

返回地球

从轨道空间站返回地球，你可以选择坐航天飞机。与亚轨道飞行返航相比，这段回家的旅程耗时会更长，需要更大的动力。你将进入大气层，然后改变方向，变换速度，直到最终停下来，整个过程会是一次真正令人难忘的过山车之旅。另一个选择是乘坐带有降落伞的返回舱。返回舱着陆不如航天飞机那样平缓，但发生的小插曲会成为你返航后的谈资。现在，让我们根据你的旅行目的地来谈谈你在太空中可以做些什么。

月球

离开绕地轨道飞往月球或更遥远的目标天体时，你可能会想起早年离家求学或者出去工作时的感受。你可能会在进入太空几天后启程，因为那时太空适应综合征的影响已经自然而然地消失了。你将会被束缚在航天器上，经历一个地月转移轨道推进过程：飞船的火箭点火，带你脱离绕地轨道，快速穿越范艾伦辐射带，然后进入绕月轨道。请回想一下第2章的有关内容，这个过程将需要两到三天的时间。

这段旅途会让人感到很舒服，因为你不用穿宇航服。从脱离绕地轨道开始，中途穿过范艾伦辐射带，到减速进入绕月轨道之前，在这段时间里，你将处于微重力状态。途中的一项主要活动就是看着地球后退而月球变得越来越大。事实上，只有当你离开了近地轨道，你才能看到完整的地球圆盘（也就是完整的半个地球）。到目前为止，只有“阿波罗号”宇航员做到了这一点。

由于地球在自转，所以如果你观察上几个小时，你会看到不同的地表特征和云形。然而，在前往月球的途中，无论什么时候看向月球，你看到的总是同样的表面特征——月球的同一面。换句话说，从地球或者我们与月球之间的太空看过去，月球似乎没有自转。

事实上，月球确实在自转，但自转速度与它随地球[注]转动的速度完全相同，也就是每$27\frac{1}{3}$天转一圈。由于这种同步转动，面向地球的总是月球的同一面。人类第一次看到月球背面是在1959年10月7日。那天，苏联的“月球3号”（Luna 3）航天器飞过月球，转向，然后给月球背面拍照。月球背面与我们从地球上看到的月球正面十分不同（见图9.4）。月球正面有许多深色、相对平坦的月海和多陨坑、多山的高地，而月球背面几乎完全被高地覆盖。

你一定听说过“月球阴暗面”这个说法，人们经常错误地用它来指代月球的背面。月球阴暗面指的是月球背向太阳的那一面，而月球背面指

的是月球背向地球的那一面。因此，在不是满月的时候，我们看到的是月球阴暗面的一部分，但我们从地球上绝对看不到月球背面。只有从地球看到满月的时候，月球的背面和阴暗面才会完全重合。

随着航天器接近月球，你会变得忙碌起来。你将再次穿上宇航服，系好安全带，然后飞船火箭发动机点火，启动绕月轨道插入进程。这之所以令人兴奋，主要是因为你将要绕着月球飞行，亲眼看到月球的背面。事实上，整个2016年，只有27个人曾经从舷窗见过月球背面（见图9.4）。

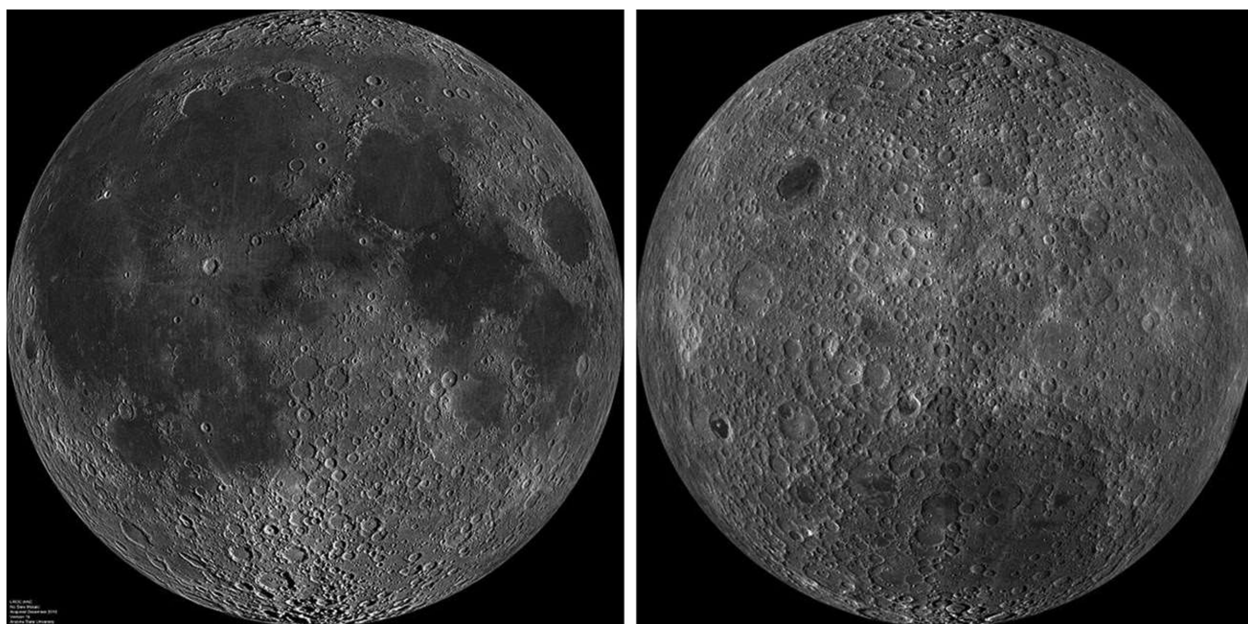


图9.4

月球的正面（左图）和背面。
图片来源：美国国家航空航天局

一旦进入绕月轨道，你就可以与某个绕月空间站对接，再由登陆器把你从那儿送到月球表面。或者，你也可以直接与登陆器对接。在登陆过程中，你从舷窗可以看到特别有趣的景象。退一步说，即便从监控大屏幕上看，景象也一定会十分壮观。灰色的月球表面覆盖着细细的粉状表土（见图1.3），个别地方点缀着坚硬的岩石。表土足够紧实，我们可以在上面着陆，行走，甚至修建居住地。月球居住地的工程设计还有很长的路要走。

月球上基本没有空气，它的重力大约只有地球重力的六分之一。因此，现代火箭技术能够让登陆器轻松地在月球表面着陆，也可以让轨道器很容易脱离月球引力。登陆器降落时，火箭向下喷气，在登陆器的周围吹起大量表土。你将在一片尘土中着陆，看起来就像慢动作跳入水中，四周水花飞溅，场面惊心动魄。如果一切顺利，登陆器将平稳降落在月球表面。事实上，有的登陆器，比如2014年在67P/楚留莫夫–格拉希门克彗星着陆的登陆器，触地后会反弹。随着技术进步，基本不会再出现这种情况。

由于登陆时尘土飞扬，所以登陆点会远离你下榻的旅馆。旅馆很可能位于地下或洞穴里，为的是保护住店客人免受太空碎片撞击和太空辐射。如果登陆点接近居住地，那么飞扬的尘土会沉降在居住地的入口以及附近的运输工具上，形成一层越来越厚的碎片。把居住地建在地下也让我们更容易控制温度。月球白天的最高温度出现在赤道，可达120℃，最低温度出现在两极附近，可达零下210　℃。到了夜间，随着月球冷却，温度会降到大约零下210℃。

既然登陆点和居住地之间相距很远，你可能会搭乘一辆月球出租车（月球汽车？）前往下榻旅馆。你很快就会注意到，出租车、宇航服以及所有建筑的外表面是多么脏。这是因为，太阳辐射把原子和分子里的电子击出了轨道，大部分表土都带有静电。这样，月球表面的所有东西都会吸住这些尘埃颗粒。它们带着类似火药烧焦的刺鼻气味，非常难闻。

或许有一天，设计师会开发出能够反复除尘的宇航服，这比给所有东西都涂上一层特氟龙[注]要复杂得多，但或许管用。研究这个课题的工程师已经找到了可能的解决方案：带上大量一次性的外罩，披在宇航服外面，可以防止宇航服因尘埃、辐射和其他碎片的撞击而老化。同样，头盔的遮光板也可使用一次性可剥离的塑料膜，类似平板电脑等设备的触摸屏保护膜。

没有大气层的月球更具有浪漫色彩。那里的天空总是漆黑一片，繁

星点点，当然地球和太阳的方向除外。从没有大气层的天体或从航天器里看过去，恒星不会闪烁，因为正如我们在本章前面谈到的，闪烁其实是由地球的大气运动造成的。

在白天，月球表面被太阳光照得一片光明，而夜晚却是一片黑暗。（但是，有少量太阳光被地球反射到月球的阴暗面上。㊟这就是为什么在不是满月的时候，我们常常也能看到一轮圆月。）

月球上的昼夜更替与月相变化的周期相同（新月——蛾眉月——上弦月——盈凸月——满月——亏凸月——下弦月——残月——新月），都是大约29.5个地球日，也就是说，月球上总是连续14.75个地球日的白昼之后接着连续14.75天的黑夜。

月球上的日食

在地球上，当月球遮住太阳时，你能看到日食。同理，当地球运行到月球与太阳之间时，你在月球上也能看到日食。月球上的日食与地球上的月食重合，并且有时发生在满月的时候。这时，在地球上，你会看到地球的影子从月球表面掠过，有时还会覆盖整个月球。㊟在月球上，你会看到（透过一个合适的滤光镜）太阳在地球后面移动，地球大气层呈现出赭色，仿佛地球上美丽的日落。

让我们再来看看你在月球表面还可以做哪些事情。

月面行走

尽管你在地球上接受过各类训练，但想在月球上行走，你仍然需要一个适应的过程。你在月球上的体重大约是在地球上的六分之一。我们的身体已经适应了在正常的地球重力下行走、奔跑、跳跃、弯腰、下落和起身。如果体重突然轻了许多，我们的肌肉反应会异于平常。在环绕地球飞行以及前往月球的途中，你就会经历微重力下肌肉反应异常的极

端情况，特别是，这会给本体感觉带来挑战。

正如第4章提到的，学习如何在月球上行走是你离开地球之前要接受的一项训练。如果你的训练是在水下进行的，那么你会发现，走在几乎没有空气的月球上有一种不同的感觉。宇航服增加了你的整体重量，这其实对你有帮助。“阿波罗号”宇航员月面行走时所穿的宇航服在地球上的重量大约是90千克，在月球上的重量大约是16千克。如果你的地球体重是80千克，那么你在月球上不穿宇航服的体重大约是14千克，穿宇航服的体重大约是30千克。即便你已经完成了各种训练，你还是要为自己的首次月面行走做些调整。

学习万有引力定律

月球是学习科学的好地方。例如，大多数人认为，重的物体比轻的物体下落速度更快。其实在地球上，如果你把一张纸团起来，然后让它和一支铅笔从同一高度落下——我刚刚就这样做了，那么铅笔将先着地。然而，发生这种情况的原因并不是铅笔的重力大于纸的重力。因为，如果没有空气阻力，物体质量或者说重量（见第1章）不会影响它的下落速度。为了证明这一点，“阿波罗15号”宇航员大卫·斯科特（David Scott）在没有空气的月球上，从同一高度同时扔下一把锤子和一片羽毛，结果它们同时落地。你可以在网上找到这段视频，你也可以随手拿任何两样东西来做这个实验。在真正理解万有引力的工作原理之后，你就可以继续尝试做一些在月球上做起来会不一样的活动。

体育运动

在月球上，许多体育活动带给你的感受都与在地球上时非常不同。例如，一个足球在地球上重大约0.5千克，那么它在月球上的重量就是75克。在月球上，如果你踢球的力量跟在地球上一样，那球会飞得更高、更远。同样，如果你在月球上打高尔夫球——1971年宇航员艾伦·

谢泼德（Alan Shepard）第一次在月球上打了高尔夫球，那么你的发球会比在地球上好很多。月球高尔夫球班用的球道将比地球上的长出很多。如果你觉得在地球高尔夫球场里找球难，那么想想月球的情况吧：由于月球表土的静电，球很快就会完全变成土色，你靠颜色是找不到的。因此，高尔夫球制造商可能会在球内安装一个微型无线电应答器，这样，你下载一个应用程序到平板电脑上，就可以追踪球的位置。

总之，对于所有涉及投球、击球或踢球，且用球与地球上一样的体育运动，你都必须重新学习，而且要在更大的场地上进行。如果把球和其他运动器材的重量变成地球上的六倍，那么你就可以像现在这样投球或击球。但是，球仍然会比在地球上落得慢且飞得远。

驾驶汽车

跟在地球上一样，你将乘坐交通工具到不同的地方去。我们有可能设计和制造出适用于月球的内燃机（就像汽车发动机）。汽车不会使用石油或天然气这两样月球上不存在的东西作为燃料，而是会使用液态氢，将它与液态氧一起燃烧。我们将把月球上的水分离成氢和氧，之后液化并分开存储，然后在相当于地球加油站的地方加注到汽车里。

未来的月球上会建设太阳能电网，可以为电动汽车充电。由于每个月连续14.75天的黑暗可能会造成某个地点的电力供应短缺，所以这个电网必须覆盖整个月球。人们应在月球各处布设太阳能电池，它们互相通过电线连接——就像地球上的电线一样，以便在任何地点都有电力供应。电动汽车只要具备几千米的续航能力，就足以载着你去考察月球上形形色色的地质特征，这可能正是你到月球去的初衷。

考察月球上不同的地质特征

国际天文学联合会——主管天体和天体上地形命名的国际天文学组织，已确定了月球的18类地形。最初被列入其中的月槽（fossa，意为狭

长的沟）已被重新归类。由于其余的地形彼此之间有重合，所以我在后文将它们做了合并。这里列出的地形并不完全，否则我得写上几百页。我的目的是让你了解月球有哪些地质特征，以及你未来可以到哪些地方游览。等到你去月球的时候，一定会有针对不同地形的专门游览项目，并让你有机会探索人类之前没有踏足过的区域。

月海

月球有两种截然不同的表面区域，如图9.4所示。月球表面约16%的面积覆盖着相对平坦的深色表土，我们称其为月海（maria，拉丁语，意为海，复数形式是mare），因为我们过去以为那里是海。其余部分是浅色的高地，上面有山脉，陨坑数量比月海里多。天文学家和地质学家仍在讨论月海形成的细节，不过月海似乎是月球刚刚形成时从其内部深处渗出的岩浆所变成的玄武岩。这些岩浆把先前形成的巨大陨坑填满。跟地球上的情形一样，岩浆一旦流出，就开始冷却和凝固，变成熔岩。

我们通过观察从月球带回来的样本来了解月球的历史。登月宇航员和苏联“月球16号”（Luna 16）、“月球20号”（Luna20）和“月球24号”（Luna 24）航天器带回了月海玄武岩。它们的年龄从32亿年到42亿年不等，而从某个月海附近的多山高地带回来的岩石年龄在39亿年到44亿年之间。

由于月海比月球的其他部分更平坦，所以大多数登陆器都在月海上登陆。等你去月球的时候，不一定非要这样做。既然高地上的地质特征更加多样化，我们很可能会在那里修建商业登陆点。

月溪

月球上还有已经干涸的河床，被称为月溪（rille或rima，rille是德语，rima是拉丁语）。月溪不是水流产生的。跟地球一样，月球可能也有蜿蜒而灼热的地下岩浆河流，流经正在凝固成月海的年轻熔岩。岩浆

河流逐渐冷却，停止流动，然后开始凝固。岩浆在从液态向固态转化的过程中发生收缩，因为固体岩石的密度更大，体积就变得比原始的液态岩石小。由于收缩，这些地下河流变成了隧道。隧道上方的玄武岩表面十分坚固，足以支撑下面的空间。然而，几十亿年间，来自太阳和星际空间的粒子把这层岩石粉末化，形成粉末状表土。这样，隧道顶部变得脆弱并最终坍塌，形成了貌似干涸河床的月溪。隧道顶部有可能没有完全坍塌，这意味着有些月溪里可能还有洞穴。在一些已凝固的地下岩浆河流之上，月溪尚未形成，所以可能也有洞穴。

另一个合乎情理的解释是，表面熔岩河流最终凝固，在收缩过程中留下这些蜿蜒的峡谷。天体地质学家仍在争论这两种机理是否是月溪的成因。“阿波罗15号”宇航员大卫·斯科特和詹姆斯·欧文（James Irwin）把月球车开到了哈德利溪（Hadley Rille，见图9.5）。这条月溪的名字取自18世纪英国数学家和发明家约翰·哈德利（John Hadley，1682—1744）。你很可能会去一条月溪看看，以便研究它的性质，还有那些据说仍然存在的天然隧道。

悬崖

月球上也有悬崖（scarp或rupe）。如前文提到的，液体凝固或气体液化时体积会变小。在几十亿年的时间里，月球熔融状态的内部逐渐冷却和凝固，体积不断缩小。然而，在表面凝固的同时，内部仍然是熔融状态。随着内核冷却和凝固，内部岩石的体积变小，留下了一片空间。固态表面无法随之均匀地收缩，有的部分比其他部分收缩得更快一些，从而在收缩速度不一致的地方形成了悬崖（见图9.6）。这就好像水果随着内部水分流失而皱缩的过程。



图9.5

1971年7月，宇航员大卫·斯科特与“阿波罗15号”飞船的月球车在哈德利溪。
图片来源：美国国家航空航天局

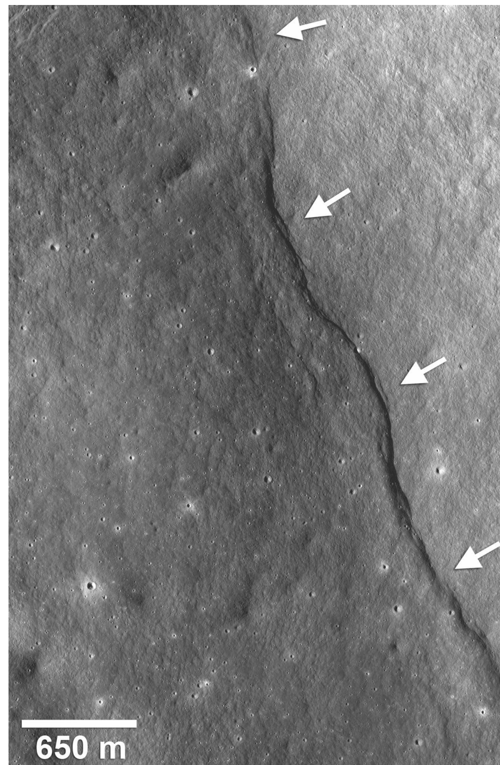


图9.6

月球背面的悬崖。
图片来源：美国国家航空航天局、戈达德太空飞行中心（Goddard Space Flight Center）、亚利桑那州立大学（ASU）、史密森尼学会（Smithsonian）

目前月球上已知的悬崖有80多个。“阿波罗15号”注宇航员大卫·斯科特和詹姆斯·欧文艰难地驾驶月球车爬上了林肯崖（Lincoln Scarp）和李崖（Lee Scarp）的交汇处。你可能会在那里的崖壁上看到一些有趣的地质特征，它们记录着月球的早期历史。

洋

风暴海（Mare Procellarum）面积巨大，所以被命名为风暴洋（Oceanus Procellarum，图9.4左图中央靠左的那片巨大的深色区域）。这是唯一称得上“洋”的月海。

月沼

月沼的名称palus是拉丁语，复数形式是paludes，意为沼泽。我们已经在月球上发现了3个月沼，分别是疫沼（Palus Epidermiarum）、腐沼（Palus Putredinis）和睡沼（Palus Somni）。月沼相对平坦，面积比月海小（见图9.7）。这些不太好听的名字与该地区已知的负面因素无关。无论是月沼还是月球表面的其他部分都不存在液态水。



图9.7

亚平宁山脉（Apennine Mountains，照片右下部）和“阿波罗15号”登陆点腐沼（箭头所指位置）。
图片来源：美国国家航空航天局、亚利桑那大学

平原

平原的名称planitia是拉丁语，意为平原，指面积相对较小的平坦区域。德森萨斯平原（Planitia Descensus）是月球上唯一得到正式认定的平原（见图9.8）。相比之下，火星上有10个这样的平原。



图9.8

德森萨斯平原（照片上部）是月球上一个平坦的、基本没有陨坑的地区。
图片来源：美国国家航空航天局

山

月球的高地上有许多山和山脉（mons，拉丁语，复数形式是montes）。地球山主要是几百万年来构造板块运动的结果。不同的是，月球山是大块太空碎片撞击月球表面的结果，形成过程只需要几个小

时。这些撞击把靠近表面的地层向外推。由于不是所有的地层都能侧移，所以一些地层向上移动，便形成了山脉（见图9.9）。

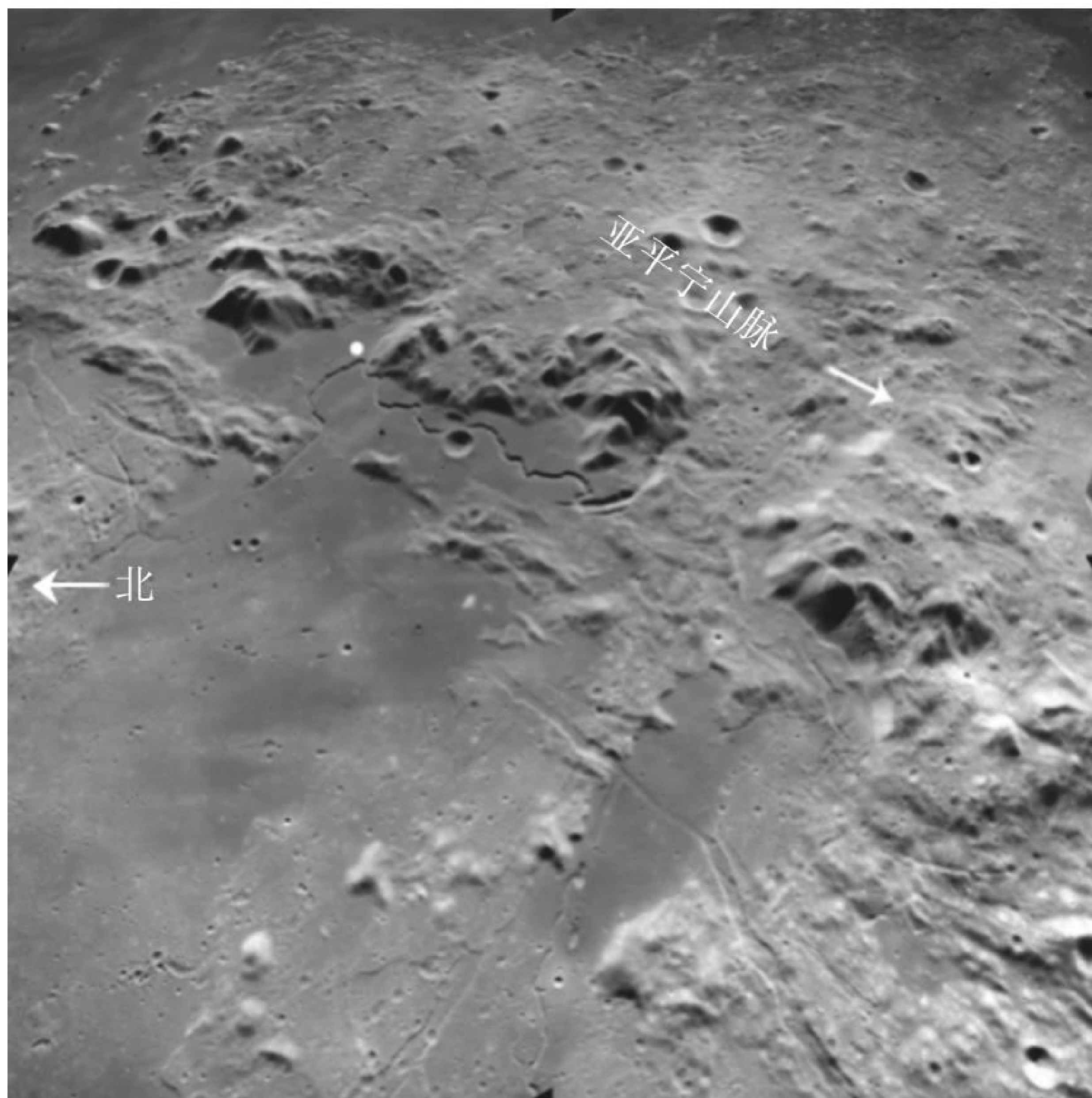


图9.9

“阿波罗15号”拍摄的亚平宁山脉。白点是“阿波罗15号”的登陆地点，下方可见哈德利溪。这条山脉在登陆点盆地上方绵延大约1.6~4.8千米。
图片来源：美国国家航空航天局、约翰逊航天中心（JSC）、亚利桑那州立大学

你或许可以爬上月球山，因为很多山的坡度相对平缓，当然也因为你更轻——即便你穿着全套的宇航服。与月海一样，大部分山的两侧山

坡看起来都是粉状表土。这对特别陡峭的山坡来说会是一个问题，因为表土更容易滑下山坡，引起山体崩塌。

陨坑㊟

陨坑可能会受到月球旅行者的青睐。据天文学家所知，月球上几乎所有的陨坑都是太空碎片撞击造成的，而地球上大部分与之相似的环形山源于火山活动。（据报道，月球上也有一些小型火山的遗迹。）

新形成的陨坑有几个显著的特征。撞击物的质量越大，撞击月球时的速度就越快，那么留下的陨坑也就越大。当物体撞击月球表面时，碎片会从撞击点飞溅出来，这类似于你在地球上把石头扔到水里的效果。正如前文提到的，除非石头垂直落到水里，否则水会优先向石头的运动方向飞溅。然而，对月球来说，大多数撞击体的速度如此之大，由此产生的爆炸使喷出物向所有方向飞溅。这就是为什么月球上的陨坑都是环形的。

从撞击点喷出的碎片被称为喷出覆盖物。最初，喷出覆盖物比周围的表土平滑和明亮。但随着时间的推移，太阳风粒子和宇宙射线的撞击会使喷出覆盖物变暗。通过观测喷出覆盖物的亮度，天文学家能够估算出陨坑的形成时间。最终，喷出覆盖物会变得与周围的表土一样暗淡，再也无法辨别。

月球陨坑还有一个普遍特征，那就是坑壁。爆炸一般的撞击把碎片往陨坑外面推，从而形成了坑壁。这些结构松散的粉状岩石可能会出现滑坡，而且的确出现过。有些坑壁如此脆弱，以至于一部分坑壁滑回陨坑。例如，一块太空碎片落到撞击点附近的地方，引发的月震把坑壁上的表土震松，这时就会出现这种情形。

有些撞击的影响如此巨大，以至于陨坑的中间部位被剧烈压缩再弹回，从而形成一个中心丘或中心环。这种陨坑被称为复杂陨坑，图9.10a展示了这种地形。图9.10b展示的是广泛分布在月球上的陨坑。

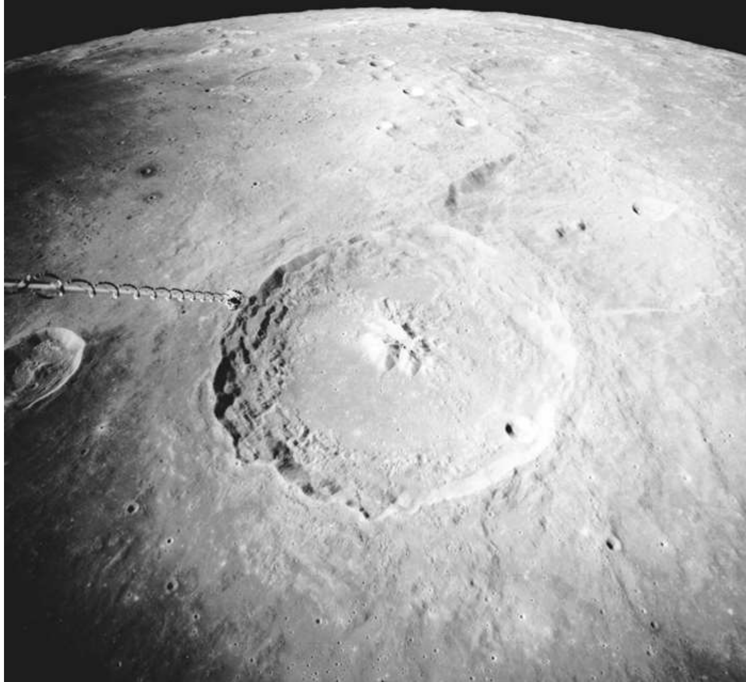


图9.10a

西奥菲勒斯坑（Crater Theophilus）。由“阿波罗16号”飞船的相机拍摄（照片左边可见“阿波罗16号”的一部分）。图上可以看到中心丘、坑壁（一部分坑壁已经落进坑内）以及比周围表面明亮的喷出覆盖物。

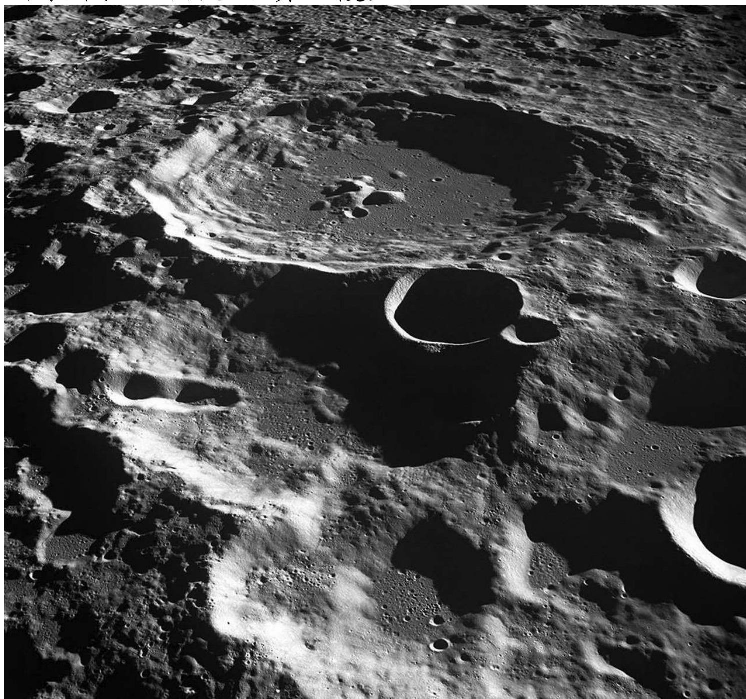


图9.10b

“阿波罗11号”工作人员拍摄的月球陨坑。
图片来源：美国国家航空航天局

你可以自由选择去看哪个陨坑。不论你选哪一个，都要当心，以免滑下坑壁，把宇航服摔坏。你还要注意，如果有人站在你的下方，不要做出可能引起坑壁滑坡的事情。但你或许可以踩着滑雪板一样的东西滑下去，这尤其适用于陡峭的坑壁。能不能这样做，还要看坑壁的稳定性和表土的黏度，这些因素决定你滑下去的难度有多大。

岬㊟

高地与月海的边界处往往充满有趣的地形。事实上，很多山脉延伸到月海里面。在地球上，类似的地形被称为岬，所以太空天体上的这种地形也沿用了这个名字。月球上共有9个岬。图9.11展示的是赫拉克利德岬（Promontorium Heraclides）和拉普拉斯岬（Promontorium Laplace）。

月湾

月湾的名称sinus是拉丁语，意为弯曲的表面。月球的这种地形通常看似地球海岸线处的海湾。从月球内部流出的熔岩将陨坑填平，便形成了月湾（见图9.11）。

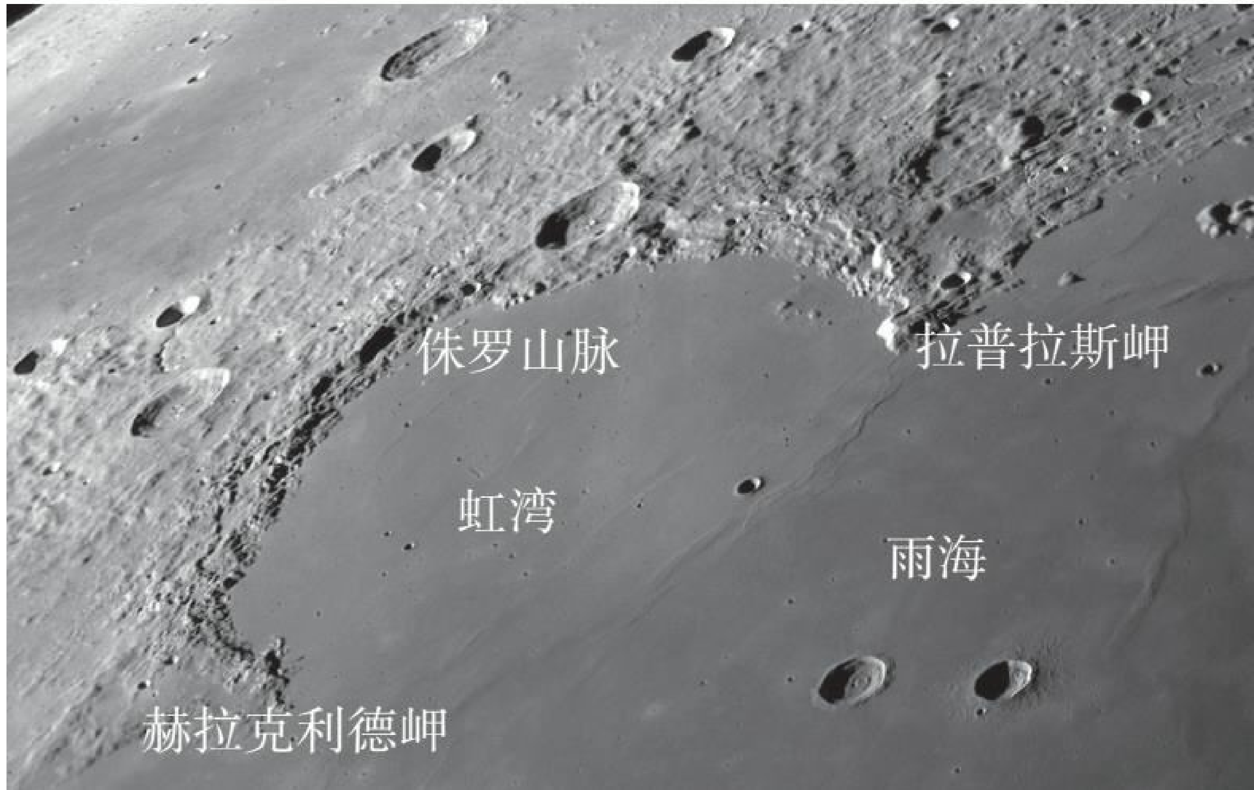


图9.11

雨海（Mare Imbrium）的边界处是虹湾（Sinus Iridum[注]）。环绕虹湾的是侏罗山脉（Montes Jura），其两端分别为赫拉克利德岬和拉普拉斯岬。还可以看到几个明显的陨坑。
图片来源：美国国家航空航天局、戈达德太空飞行中心、亚利桑那州立大学

登陆点

对那些喜欢历史的人来说，20世纪和21世纪早期航天器的登陆点会有巨大的吸引力。当你去月球的时候，“阿波罗号”飞船的登陆点（见图9.12）和苏联月球车的活动点极有可能被宣布为国际地标，严禁人们移动纪念品和踩踏早期宇航员的足迹。对于这些史料，还有一个可能的选择：把原始物件全部带回地球，存放在博物馆里，然后把复制品放在原地，但仍然不对游客开放。无论怎样，你到这些地方参观时，都能找得到导游。

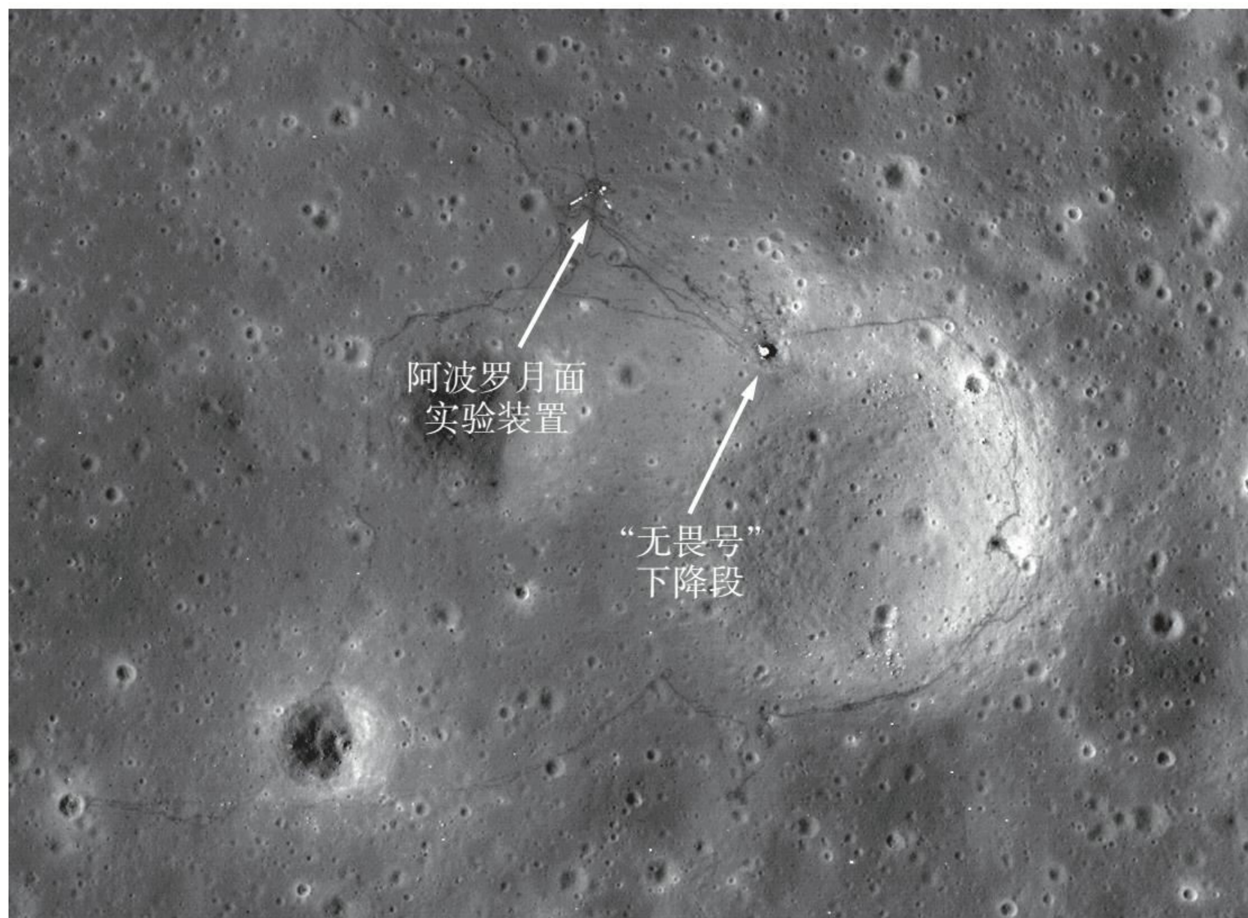


图9.12a

“阿波罗12号”登陆点，可以看到登月车痕迹和脚印。

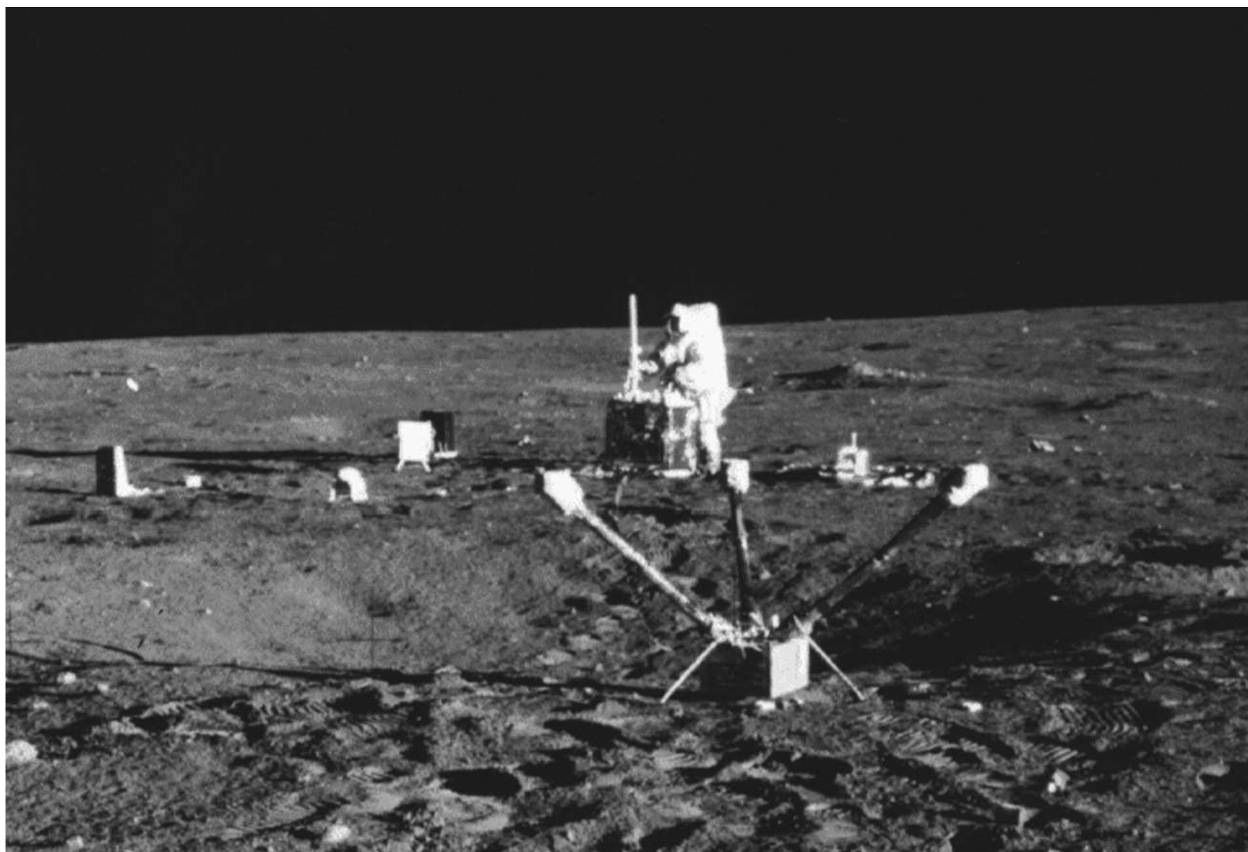


图9.12b

宇航员小查尔斯·康拉德（Charles Conrad Jr.）在“阿波罗12号”上架设阿波罗月面实验装置（ALSEP）部件。
图片来源：美国国家航空航天局、戈达德太空飞行中心、亚利桑那州立大学

月湖

月湖的名称lacus是拉丁语，意为湖泊。月湖是月球表面的洼地。如果里面曾经有水的话，我们会把它称为湖泊（见图9.13）。我们目前已在月球上发现了20个月湖，在其他天体也发现了一些这样的湖泊。

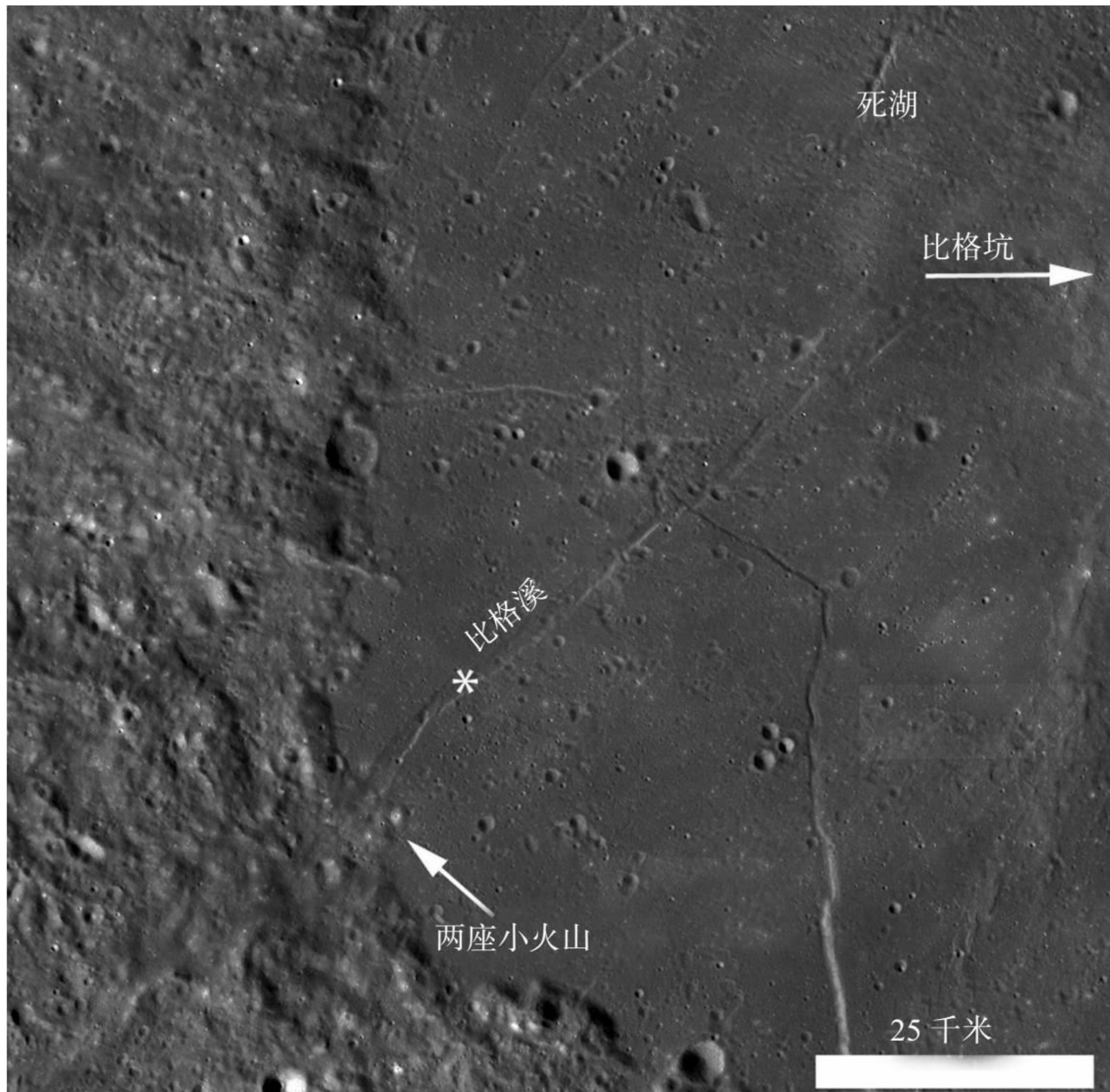


图9.13

死湖（Lacus Mortis）局部。请注意贯穿照片的月溪。
图片来源：美国国家航空航天局

山脊

我们上面提到的月海中有各种各样的构造。其中细长的土丘被称为山脊（dorsum，拉丁语，意为背部，复数形式是dorsa），富有诗意的叫

法是皱脊（wrinkle ridge）。它们经常形成平行组，延绵几百千米（见图9.14）。对所有月海来说，在熔岩冷却和收缩的过程中，都会形成山脊，从而使一些碎片高于周围的表面。

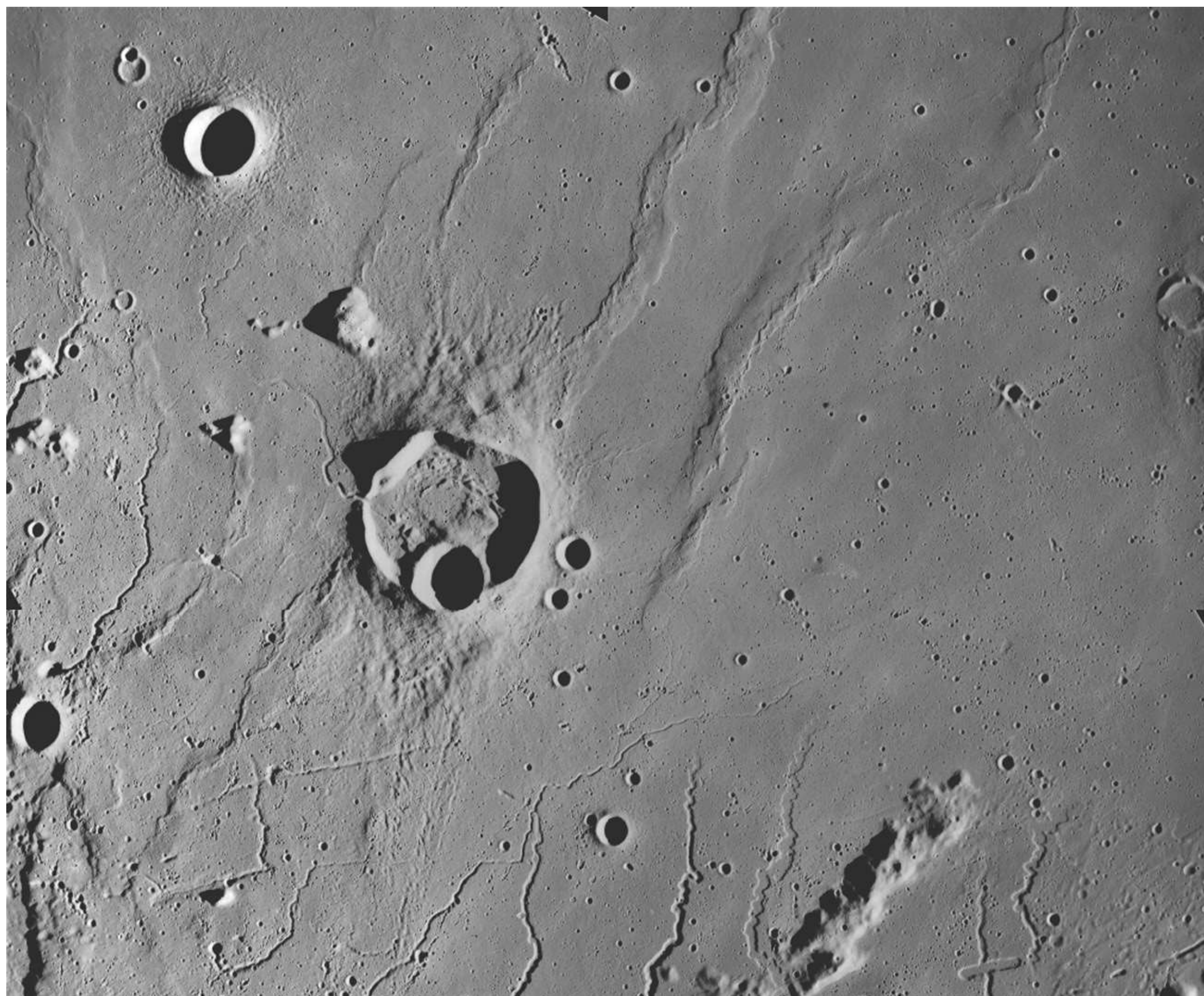


图9.14

“阿波罗15号”拍摄的克里奇坑（Kreiger Crater，图中央偏左上），它的下方是有月溪，上方是皱脊。
图片来源：美国国家航空航天局、约翰逊航天中心、亚利桑那州立大学

反照率异常区

月球上有些地方异常明亮，据说这些地方具有高反照率。反照率代表一个天体的表面或上云层将入射光直接反射回太空的百分比。反照率

异常区（albedo feature）是月球表面反照率显著异于周边的区域。月球正面有一个反照率异常区，称为莱纳伽马（Reiner Gamma，见图9.15），还有几个位于月球背面。莱纳伽马特别有趣，因为这片明亮的区域呈现旋涡状。反照率异常区的成因尚不清楚，但可能是月球一面遭受撞击时在另一面形成的局部磁场或能量聚集的区域。我们观察到水星上有这样的区域。



图9.15

反照率异常区莱纳伽马旋涡，月球正面的一片明亮区域。这种区域的成因和该地区物质的性质仍在研究中。
图片来源：美国国家航空航天局月球勘测轨道器广角相机科学小组（NASALRO WAC science team）

坑链

月球上的大部分陨坑是随机分布在月球表面的，但也有一些例外。坑链（catena）是一串基本连成一线的陨坑。这些陨坑由一系列碎片——比如与月球在同一轨道上运行的彗星残骸——撞击月球而形成的（见图9.16）。其他解释正在研究中。到目前为止，我们已经在月球的正面和背面发现了20条坑链。

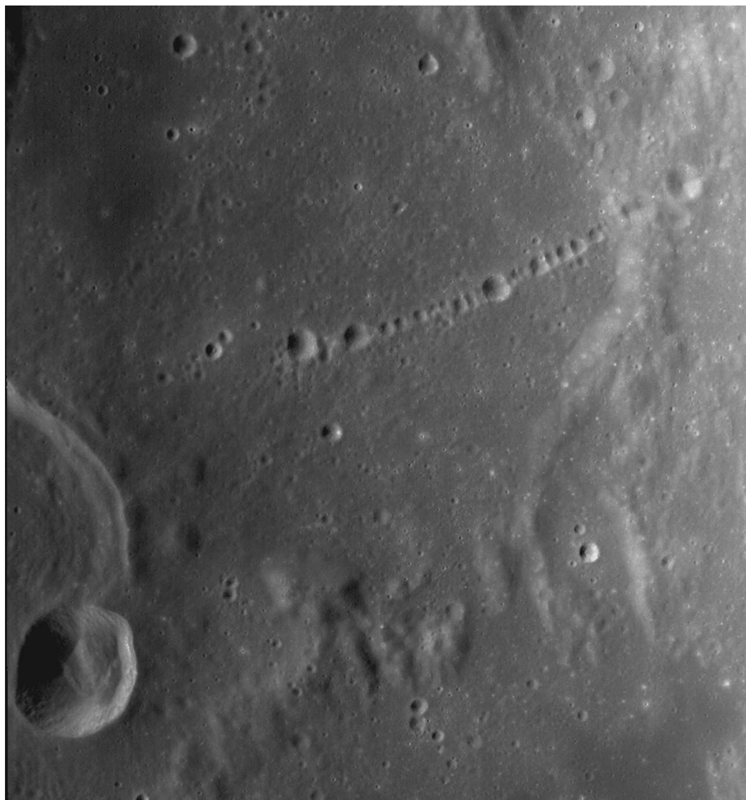


图9.16

云海（Mare Nubium）里的戴维坑链（Catena Davy）。据推测，两者是同一颗彗星解体后残留的碎片撞击月球时形成。
图片来源：美国国家航空航天局、戈达德太空飞行中心、亚利桑那州立大学

月谷

月谷的名称vallis是拉丁语，意为山谷。月谷的形成有多种方式。有些是月球表面不均匀沉降的结果（见图9.17）。有些是由一串相邻的陨坑组成。还有一些从大陨坑辐射开来，或许是造成大陨坑的撞击留下的。



图9.17

月球上的阿尔卑斯大峡谷（Vallis Alpes）。注意这里还有月海、山脉、陨坑和月溪。
图片来源：美国国家航空航天局、美国地质调查局（USGS）、美国月球与行星研究所（LPI）

参观月球表面的开口和隧道

月球接近表面的地方可能存在很多隧道。如前文所说，太空地质学家认为，至少有一些月溪是地下岩浆河流坍塌形成的，其中有些可能还有洞穴。如果这些隧道——被学者称作熔岩管道——真的存在，那么你就能去那探索，就像我们到夏威夷、冰岛、西班牙、葡萄牙以及北美洲的很多地方，去探索地球上的熔岩管道一样。

天文学家还发现月球表面有一些开口（见图9.18）。它们可能是熔

岩管道上壁坍塌后留下的——这种情况地球上也有，但或许还有其他成因。它们通向哪里尚不清楚，但是如果你住的旅馆足够近的话，你可以去参观一个开口，下面说不定还连着一条隧道。实际上，你的旅馆可能就建在一个开口里面。

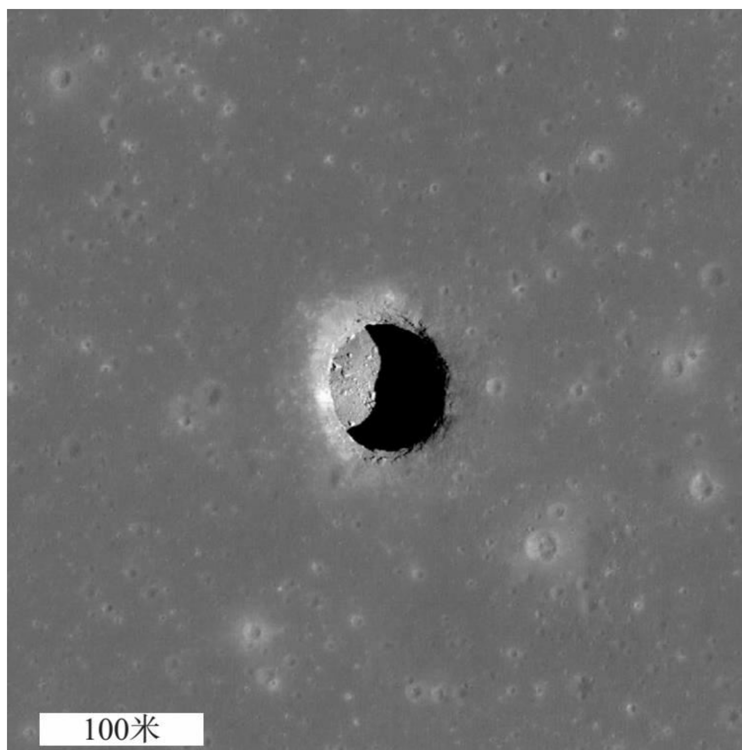


图9.18

静海（Mare Tranquilitatis）上面的开口。我们现在还不知道它是通往月球的熔岩管道还是其他洞穴结构。
图片来源：美国国家航空航天局、戈达德太空飞行中心、亚利桑那州立大学

使用望远镜

除了参观月球的自然和历史遗迹外，你还可以透过强大的望远镜研究天体（包括地球）。我们已经计划在月球背面架设研究级望远镜。月球没有大气层，所以我们可以全天候使用这些望远镜。由于月球没有大气层散射太阳光，所以太阳光不会射进望远镜，除非你把望远镜直接对准太阳。月球背面是架设射电望远镜的理想地点，因为在一般情况下，

射电望远镜需要排除地球上其他无线电发射源的干扰，比如手机和电台。来自地球的辐射已被月球吸收，不会到达月球背面。

把天文台建在月球正面不如建在月球背面，因为从月球上看，地球是一个巨大的亮点。此外，地球大气层发出的光会放大目标区域，导致望远镜无法瞄准。尽管如此，对月球正面的旅馆和居住地来说，给客人和居民提供中型望远镜仍然具有吸引力。在行业里，我们把这种望远镜称为1米望远镜，也就是物镜口径为1米的望远镜。经由这种望远镜的放大，数百万个有趣的天体将会呈现出令人叹为观止的景象。此外，由于月球没有大气层，所以进入望远镜的光不会闪烁。正如前文所说，这可以使图像比从地球上看去更为清晰。

参观月球上的专业天文台与访问地球上的同类天文台一样，会让你拥有一个无与伦比的视角来研究天文学。这里的望远镜将会连续工作，并把收集到的图像实时显示在监视器上。因此，你可能有机会发现正在形成过程中的宇宙新景。

参观水开采装置

随着月球得到开发，我们可以在那里建设开采和生产装置，而第一个要建的或许是水开采装置。月球虽然看起来贫瘠，但天文学家发现，月球表面以下的很多地方都有水冰和与水有关的化合物[注]。我们发现，在太阳光永远照不到的两极附近，许多陨坑里都有冰。据估计，这些由富含冰的彗星和小行星碎片带来的冰有好几立方英里[注]，而且整个月球表面到处都有可以生成水的分子，用这些分子可以生成与两极的水冰等量的水。看起来原料很充足，这使月球上的水开采具有经济可行性。

你可能会惊讶地发现，原来太空中的水比地球上的水用途更多！在所有非传统用途中，第一个就是将水分解成氢气和氧气。这通过电解来完成，所用电能由太阳能电池板提供。如前文提到的，获得的氢气和氧气将分别存储在储罐中。

有些氧气可以用来呼吸。

我们还可以将氢气和氧气重新结合，用于加热和发电。氢氧结合并点燃时，会产生热量和水蒸气。在月球上，这个过程可以在受控条件下用地球锅炉的等效设备来完成。释放的热量可以在夜间给居住地供暖，或者用来发电、驱动车辆。这些合成水冷却后可以饮用，也可以用于其他“常规”用途。

氢气和氧气也可以用作火箭燃料。将大量的氢气和氧气结合并点燃，然后让这些灼热的气体以受控气流的形式喷射出去，这就是火箭。因此，电解水得到的氢和氧可以当作火箭燃料，为航天器登陆月球、离开月球和在轨道上候命提供动力。

收集月岩样本带回地球

离开地球进入太空的一个最大问题是火箭和所载货物的重量。总重量越大，进入轨道所需的火箭燃料就越多。这个问题如此关键，以至于我们对带离地球的每样东西都要计较到最后一克。月球上的物体重量较小，所以我们可以制造能够在月球上登陆、携带很大质量进入绕月轨道的火箭，也可以制造在环地空间站中转的地月太空穿梭机，用来把你收集的月岩带回地球。这两种做法都是经济可行的。因此，每位月球访客都可能带回至少几千克的月岩。这就是为什么会安排你到月球上岩石丰富的地方去收集月岩。

对于“阿波罗号”宇航员带回地球的月岩，我们充分了解其地质属性，但这些岩石样本太少，远未达到月球地质学家的期待。等到你去月球的时候，我们会更清楚应该挑哪些岩石带回来，所以你值得花些时间和精力去了解哪些岩石最有价值。还要记住，在地球上发现宝贵的矿物——比如1867在南非发现钻石，这种事情往往都是偶然的，你在月球期间说不定也会偶然发现某种独特的矿物呢。

观察月面暂现现象

几百年前，就曾有人报告说看到月球某些地形的短暂变化。这些事件大多被描述为出现明亮的闪光或颜色爆发，一部分可能是由第7章讨论的太空碎片引起的，其余事件（如果确实发生过的话）发生的缘由，我们目前还不清楚。判断这些事件是否属实的难点在于，它们如此短暂，以至于每次发生时通常只有一个人看到。传统上，我们把这称作月面暂现现象，现在也叫作暂现月面现象。一个特别神秘的报告来自“阿波罗11号”宇航员。下面是美国国家航空航天局记录下来的部分对话：

布鲁斯·麦克坎德雷斯（Bruce McCandless，在地球上）：收到。如果你们在上面有时间的话，我们这里有一个观察结果。有报告说在阿利斯塔克(注)附近出现月面暂现现象。

完毕。

尼尔·阿姆斯特朗（Neil Armstrong）：我们现在正向北去往阿利斯塔克。

迈克尔·柯林斯（Michael Collins）：嘿，休斯敦(注)。我现在正在向北边的阿利斯塔克看去，我真的没法从这个距离辨认出我看到的是不是阿利斯塔克，但有一块区域明显比周围亮。那里刚刚——看起来好像——出现了微量的荧光。能看到一个陨坑，陨坑的周边很亮。

巴兹·奥尔德林（Buzz Aldrin）：休斯敦，我是“阿波罗11号”。现在正在看向同一个区域，看起来确实反射了一部分地照。我不确定计算结果是不是零相位到……呃，至少那个陨坑的一面坑壁看起来比其他面更明亮，而且，那面坑壁——如果我们跟地球在一条线上的话——看起来确实差不多在零相位上。那片区域绝对比我从这边舷窗看到的其他任何东西都亮。我不确定是不是真的看到了磷光，但那绝对比周围的任何东西都亮。

这段讨论持续了大约半个小时。

如果月面暂现现象真的发生了——我猜确实发生过，那么引起这种现象的原因有很多：小块太空碎片撞击月球时飞出来的碎片，气体从月球内部逃逸，太阳高能粒子撞击月球产生的静电电荷引起的一些气体流动。如果你知道会出现这种现象，你就能更好地去寻找，要么在发生的时候直接去找，要么在发生后观看实况录像。人们看到的月面暂现现象越多，科学家就越容易发现这种现象的本质和成因。

前往小行星、彗星和火星的卫星

当你离开绕地轨道或绕月轨道前往更遥远的天体时，你将踏上一段史诗般的旅程，但离开轨道的加速度远比离开地球的加速度要小得多。正如第2章所说，你很可能沿着修正后的霍曼转移轨道向外飞，这是一条既节约能源又相对快捷的路线。即便如此，我们这里说的也都是长达几个月的飞行，所以我们有必要谈谈怎样充分利用这段时间。

在长途太空旅行中，我们将进行各种日常活动，其中许多活动在前文介绍过，包括：

- 吃饭。
- 锻炼。
- 使用液体化妆品、梳头、剪发。
- 上洗手间。
- 复习飞行程序，完成日常和应急演练。
- 与地球上的家人和朋友交流。
- 发微博和朋友圈。
- 记日志。

- 上课。授课人可以是同行的人，也可以是地球上的人。
- 研究你的专业领域或者你感兴趣的领域。
- 及时了解地球上的消息。
- 参加地球上的工作（如果你愿意）。
- 性行为。
- 工作。
- 社交。

有的活动值得多说几句。与朋友和家人的交流会很有乐趣，不管是听到家里的好消息，还是远程与家人互动，这些都让人感到开心。时至今日，你已经可以用网络电话或其他方式与家人视频通话。然而，由于所有电磁波都是以同一个有限的速度[注]传播，所以你离地球越远，信号传播的时间就越长。例如，地月之间的单向信号传播只需要1秒钟，但如果你在地球的一颗特洛伊小行星上（位于地球的拉格朗日点），那你得等上9分钟才能收到地球的一条回复。在“嗨！你好吗”和“我很好，但猫病了”两句话之间，你甚至有时间喝一杯咖啡。

地球与火星（或它的卫星）之间的信号传播耗时与两者的相对距离有关。单向信号传播最短用时大约3分钟，这时两者位于太阳的同一侧且距离最近。单向信号传播最长用时22分15秒，这时它们分居太阳的两侧。这样的时间延迟可能会催生一种新的交流方式：通信双方各自开启一条单独的故事线，从而把等待的时间减半。

科学与科幻作品

1905年，阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）发表了阐述“狭义相对论”的论文，从数学上解释了为什么没有任何东西能

够超光速穿越太空。这里的“光”指任何形式的电磁辐射。事实上，所有电磁辐射（无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X射线和伽马射线）都以完全相同的速度传播。物体的运动速度之所以无法超越光速，是因为物体的质量会随着速度变大而增加。例如，如果你以光速87%的速度把0.5千克的物体发送到太空，它的质量会增加到1千克。事实上，你不可能以光速发射物体，因为如果物体以光速运动，它的质量将比整个宇宙所有物质加在一起还要大！

到目前为止，狭义相对论的各项预测均已被实验证实。此外，没有实验证据表明宇宙还有另一个允许“超光速推进”的维度。光速就是极限——没有超光速的曲速层级[注]。

地球上将会有几百万人希望与你进行交流，你甚至可以为他们开办一个收费的远程学习班。反过来说，如果你有一直想学但没时间学的科目，那你可要抓住这次千载难逢的机会。不管是给人讲课还是自己听课，都是为了愉快地度过那漫漫长路。我们在前文提到过，潜艇兵、执行长期任务的宇航员，还有其他在孤立环境里生活过的人，他们的经历都表明，如果一个人发自内心地相信自己正在做有意义的事情，那么他对那段经历的感受会大大改善。因此，在出发之前，太空旅行公司会跟你一起制定一个丰富且充实的日程安排。

这就引出了飞船上的昼夜循环问题。我们的生活是有规律的，正如第7章及其后的章节提到的，人类经过进化已经形成了24小时的睡眠和唤醒周期。因此，跟轨道空间站一样，飞船里的照明、温度和声音也会以24小时为一个循环，这样你的昼夜节律才会保持正常。

我们曾经做过一些实验，目的是研究宇航员感到最舒服的一周应该有几天。例如，美国国家航空航天局曾尝试让宇航员生活在10天为一周的环境里，工作8天，休息2天，但宇航员并不喜欢。因此，你的飞船将会与地球一样，也是每周7天，其中5~6天集中从事有建设性的活动，

1~2天主要进行娱乐活动。

想要享受长途旅行，娱乐只是需要考虑的冰山一角。正如我们在第8章谈到的，孤立环境下的群体往往容易形成排外的小圈子。群体动态问题对消遣娱乐以及太空旅行的方方面面都极其重要。事实上，在如此漫长的旅途中，找事情做并为之感到自豪不是你们的头等大事，保持和睦才是。

太空飞行期间，你可以并且也应该与同行的人进行娱乐活动。此外，各种在线游戏等活动也可以帮助你消磨时光。



我们需要特别注意不同类型天体的化学组成。让我们回想第1章的内容。小行星主要由岩石和金属组成，彗星主要是岩石和冰，火卫一和火卫二貌似是被火星捕获的小行星，所以它们的主要成分可能也是岩石和金属。再回想一下，彗星在接近太阳时会释放大量的冰和岩石碎片，它们大部分被吹向背离太阳的方向，形成彗尾。对于飞离太阳的彗星来说，进入它的尘埃尾将会十分危险，因为其中的物体可能会撞坏航天器。来自外太阳系的彗星在接近太阳时，加热程度相对较低，不那么活跃。因此，在不远的将来，它们将成为太空旅行者的目的地。

由于此类彗星的运行轨道十分复杂，所以你可能是第一批到达它们的太空旅行者。作为一个天体的首批游客，你会像找到了一座失落已久的古墓或者当选总统那样志得意满。看着目的地在监控屏幕上越来越大，这种经历就像我在写这本书时首次看到冥王星的细节时[注]那样令人难忘。你会把图像传回地球，但你却是身临其境！

进入绕彗星的轨道后，你将可以看到它的每个部分。2014年9月10日，“罗塞塔”探测器被送入绕67P/楚留莫夫–格拉希门克彗星的轨道，当时它正在飞向太阳。这使我们能够看到它的全貌。此外，当你在轨道上安全运行时，你可以离开航天器并且登陆。如果目标天体的自转速度很快，那可能会有些难度，但登陆此类天体完全在我们的技术能力范围

内。对于所有小行星、彗星和火星的卫星来说，它们的质量极小，所以登陆后你将几乎完全没有体重。例如，站在火卫一表面上，你的体重只有地球体重的1/2 000多一点点。我在那儿的体重大约会是50克。

在几乎所有这些目标天体上，你都可以做一件有趣的事：跳起来，然后飘走。尽管它们的万有引力会不断把你拉回来，但如果你的弹跳速度够大的话（超过那个世界的逃逸速度），你就会一去不复返。但是不要害怕！你将被一条足够长的绳索安全地系在目标天体上。你就可劲儿跳吧。

在低重力世界里行走将是一项挑战，所以我们会在那里铺设一个水平缆绳网络，这样你就能扶着缆绳走遍每一个角落。谁知道你会有什么发现呢？跟在月球上一样，你得做好落一身灰的准备，因为静电会使尘埃附着在你的宇航服上。你可以把岩石和灰尘当作纪念品带回家。

如果你的目的地是一颗彗星，那么你可能会遇到从它内部喷射出来的气流。我们之前谈到过，这些气流很危险，因为其中可能夹带着小块碎片。虽然危险，但这个景象还是值得一看。如果太空旅行公司给你们备了塑料膜，那你可以把塑料膜盖在气流上，收集喷射出来的气体和稍大的碎片作为样本。请注意，你不会听到这些气流发出声音，因为所有这些天体——彗星、小行星和火星的卫星——基本没有大气可以传播声音。即便是彗星的彗发，空气也极其稀薄。

火星的卫星

访问火星的卫星将使我们从另一个有趣的视角来观察火星。正如月球绕着地球转，火卫一和火卫二围绕着火星与火星同步转动。就像我们在本章前面所讨论的，这意味着它们的自转速度与公转速度相同，所以对两颗卫星来说，面向火星的永远都是同一面。要想充分利用登陆后的时间，你将会在它们面向火星的那一面登陆（两颗卫星你都会去）。这可以让你有足够的时间来观察火星，同时探索卫星表面。它们绕火星运

行的速度很快，所以你在卫星上逗留期间能够看到几乎整个火星的模样。

火卫一和火卫二的运行轨道与月球的运行轨道差别很大。它们与火星的距离比月球与地球之间的距离近很多倍。火卫一距火星表面大约6 000千米，火卫二大约20 000千米，而地月之前的平均距离是384 000千米。因此，与从月球上看地球相比，从两颗卫星看去，火星占据天空的面积要大得多。具体来说，从月球上看，地球圆盘在天空中的跨度为2°，而从火卫一和火卫二上看，火星的跨度分别约为43°和16.5°。相比之下，从地球上看，月球在天空中的跨度仅为0.5°。

两颗卫星相比，火卫一的体积更大，受到的撞击更严重。最大的陨坑是位于火卫一正面的斯蒂克妮坑，直径是火卫一的一半，是火卫一之旅必去的景点（见图2.4）。两颗卫星都是在1877年由天文学家阿萨夫·霍尔（Asaph Hall，1829—1907）发现的，这个最大的陨坑的名字正是取自他的妻子安吉莉娜·斯蒂克妮·霍尔（Angeline Stickney Hall，1830—1892）。这次成坑撞击差一点毁掉了火卫一。若是当初真的被撞散了，那么它的一部分会被吹到火星上，还有一部分会永远飞出轨道，而剩余部分会在火星周围形成一个环。环里的碎片会相互吸引，聚集起来，直到最后形成一颗体积较小的新卫星。

其实，你还能够游览火卫一上岩石已经开始崩离的地区。除了陨坑外，火卫一表面的大部分地区还有平行的峡谷（valley）或沟槽（groove）。最初我们认为，它们是与斯蒂克妮坑一起由撞击形成的，但最近的说法是，其成因是火卫一在向火星逐渐跌落时产生的内部应变[注]。正如月球引力使地球出现潮汐现象，火卫一也会使火星陆地周期性起伏。火卫一绕火星运动得如此之快，以至于火星陆潮反过来拉拽它，使它失去能量，进而逐渐向火星跌落。

在目前这个距离上，火星对火卫一正面的引力显著大于火星对其背面的引力。这种被称作潮汐效应的引力差正在撕裂火卫一。有人认为，这些平行的峡谷就是证据。

火卫二（见图2.4）遭到的撞击少一些，其表面也没有类似斯蒂克妮坑那样的地形。两颗卫星都有大量表土，但我们不知道土层有多深。如果经过练习（或者使用一个特别设计的弹簧发射器），再准备好一根足够长的绳索，你就可以跳到几百米甚至几千米的高空，然后在火卫二引力的作用下停住，最后落回去（在地球上，我们才跳起来几厘米，地球重力就会迫使我们停止上升）。即使从几百米或几千米的高度向这两颗卫星跌落，你也会极其轻缓地落地，速度跟你的初始起跳速度一样。就像在其他遥远天体上一样，你值得花时间和精力去收集岩石和表土带回家。

我们现有的技术允许我们访问本节讨论的任何一个天体。说到火星的卫星，你自然会问一个问题："既然我要去火星的卫星，为什么不干脆去火星看看呢？"简单来说：如果你肯花钱，你就能去，但增加的费用会相当可观。我们在第2章解释过，原因有两个。第一，登陆火星是非常困难的。火星的引力比月球和其他任何你能到访的天体都要大，加之火星大气层极为稀薄，我们需要昂贵的技术才能让人类安全登陆。第二，登陆器降落在火星表面之后必须能够正常工作，这样至少登陆器的一部分能够返回轨道，而将航天器技术发展到这种水平非常困难。但反过来说，如果你已经支付了火星往返游的费用，那么你再多花一点点钱就可以去火星的卫星了。

访问火星

火星将是人类在不远的将来进行太空旅行的终点站。到火星表面的路线与从绕地轨道出发前往火星的卫星相同。事实上，从绕地轨道出发时，一部分乘客可能去火星的卫星，而其余人前往火星表面。毫无疑问，两组人在出发前的最后一个月里接受的演练截然不同。卫星旅行者将接受系绳索和低重力训练。火星旅行者不需要这项训练，因为我们在第2章中谈到过，火星的重力大约是地球的0.4倍，这意味着你的火星体

重是地球体重的0.4倍，所以火星旅行者要进行的训练主要与登陆和迁入长期居住地有关。与月球居住地一样，火星居住地很可能也会建在地下，以便居住地自身和里面的居住者能够免遭辐射。与在月球上一样，你的宇航服以及其他所有暴露在行星表面的东西都会因为静电吸附而变得脏兮兮。

如前文所说，参与太空探索的国家和公司正在考虑在火星建立永久居住地，因为在火星上制造和布设能把人带离火星的火箭，其成本将是天文数字——请原谅这个说法。我们保留一些人有能力支付额外几千万美元离开火星的可能性，所以接下来，我们来探讨游客和定居者探索火星的机会。

人类访问火星，最想了解的可能是那里是否存在生命。来自火星表面特征的证据表明，火星可能存在液态地下水，但除了从火星喷出的陨石里发现过一个貌似化石的东西之外，我们尚未发现任何表明生命存在或曾经存在的证据。这不是火星上从来没有过生命的论断，只是基于现有的科学证据做出的一个陈述。

尽管如此，有几乎不可辩驳的证据表明，火星表面曾经存在大量的液态水。在地球上，地表液态水（甚至地下水）里有无数的生命形式。既然在地球上是这样，我们也可以合理地期待，早期火星也是如此。对于这个观点，有人赞成，也有人反对，因为跟地球相比，火星的质量不同，与太阳的距离不同，表面的化学组成不同，大气成分不同，卫星的质量没有我们的月球大，构造板块运动（现在已经停止）的历史不同，等等。如果我们在火星上发现生命，即便是微生物，那也会深刻地影响我们对外星生命是否存在以及生命起源的看法。火星有没有地下生命是一个完全没有定论的问题，但火星表面没有液态水，大气密度低，缺氧，加之来自太阳的极强辐射，这些都使火星表面存在生命的可能性微乎其微。

如果液态地下水中有生命，那么其中的细菌成分将是威胁人类安全的一大问题。如果这些细菌进入我们的血液，我们现有的生物保护机制

可能无法杀死它们。另外，把火星上的潜在传染病带回来可能会给地球生命带来毁灭性的影响。相反，虽然制药实验室或许有能力开发疫苗来保护火星上的人类，但火星上的细菌可能无法在一个被人类细菌和病毒污染的环境中生存。如果真是这样，我们的存在可能造成火星本土生命的灭绝。不管火星生命有多么简单，这都会引发一个伦理问题：我们该不该在火星上存在。这些问题属于美国国家航空航天局行星保护办公室（NA-SA’s Office of Planetary Protection）的职权范围。

大气

火星的大气十分稀薄，密度只有地球大气的0.6%，其中几乎没有适于呼吸的氧气。火星大气几乎完全由二氧化碳、氩气和氮气组成。氧气占地球大气层的21%，但在火星大气层中仅占0.14%。因此，离开居住地时，你必须携带氧气瓶。同样，低气压要求所有居住地和车辆都必须是封闭的，这样里面适于呼吸的空气就不会泄漏出去。

稀薄的大气也限制了臭氧（三个氧原子结合在一起，O_3）的含量。地球的臭氧层阻挡了一些来自太空的致命紫外线辐射。由于火星大气的臭氧浓度较低，所以火星表面受到的致命太阳辐射比我们这里要多得多。因此在火星上，如果从居住地或车辆里出来的话，你必须穿着宇航服，以免受到辐射。

尽管火星大气层十分稀薄，它还是足以形成水冰云（wate rice cloud），后者主要分布在赤道低空区域和极地附近。这些云往往昙花一现，通常在一天内出现和消失。据一些报告说，有些水冰云还形成过降雪。

火星表面特征

接下来，让我们假设火星上存在生命，我们可以与之共存，互不侵害。你可能会停留几个星期或几个月，所以让我们假设你的旅行公司已

安排你游览火星上的所有主要地形和景点。因此，我们先看看火星表面有什么（见图9.19）。

火星北半球和南半球的环境差别很大。北部地区大部分比较平坦，没有陨坑，有一个极地冰盖。那里的水冰以永久冻土的形式存在，而二氧化碳冰（干冰）的面积随季节变化。这片平坦的区域在有些地方延伸到赤道，在另一些地方则从极地向下延伸到极地与赤道连线的中点。天文学家认为，在火星还年轻的时候，在地表水全部结冰或蒸发之前，这里可能是一片巨大的液态水海洋。

相比之下，南半球坑坑洼洼，有些地方延伸到了北半球，上面分布着几座死火山、一个比亚利桑那州的大峡谷（Grand Canyon）还宏伟的峡谷系统、干涸的河床、广阔的平原和一个与火星北极类似的极地冰盖。总的来说，南半球比北半球平均高出1.6~5千米。

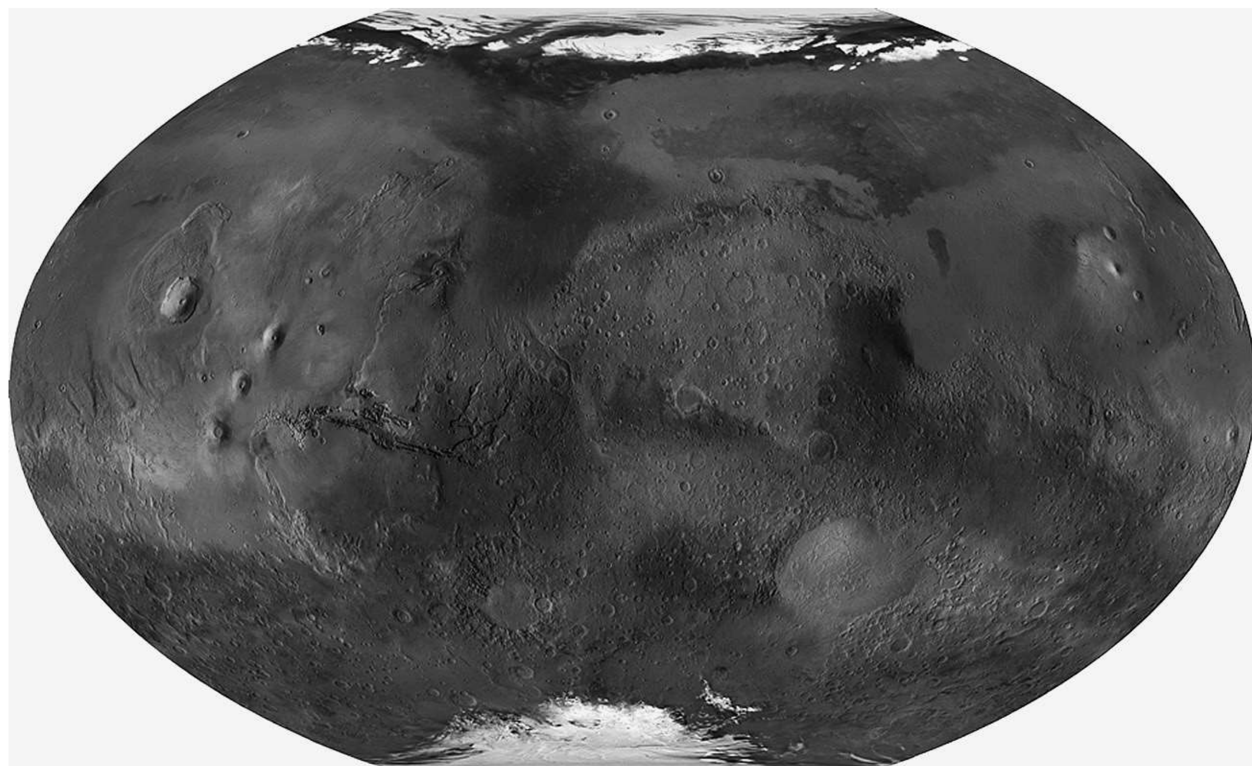


图9.19

未折叠的火星表面地图。上方为北。左面连成一线的三座山合称塔尔西斯山群（Tharsis Montes），自下向上依次为艾斯克雷尔斯山（Ascraeus[注]Mons）、帕弗

尼斯山（Pavonis Mons）、阿西亚山（Arsia Mons）。塔尔西斯山群左边是火星上最大的山——奥林匹斯山（Olympus Mons），右边是水手谷（Valles Marineris）。
图片来源：美国国家地理学会（National Geographic Society）、火星轨道激光测高仪科学小组（MOLA Science Team）、火星战略科学评估小组（MSS）、喷气推进实验室、美国国家航空航天局

南北半球的交界处有三种显著的地形。首先，很多地方都有所谓的磨蚀地形（fretted terrain，见图9.20）。这是由峡谷、孤山（butte）、方山（mesa，平顶坡陡的山）、普通山丘和碎片流构成的一种复杂地形。太空地质学家对其中涉及的各种形成机制尚未达成共识，但很显然，有些是因水的流动、地下冰汽化、风和冰川流动而形成的。

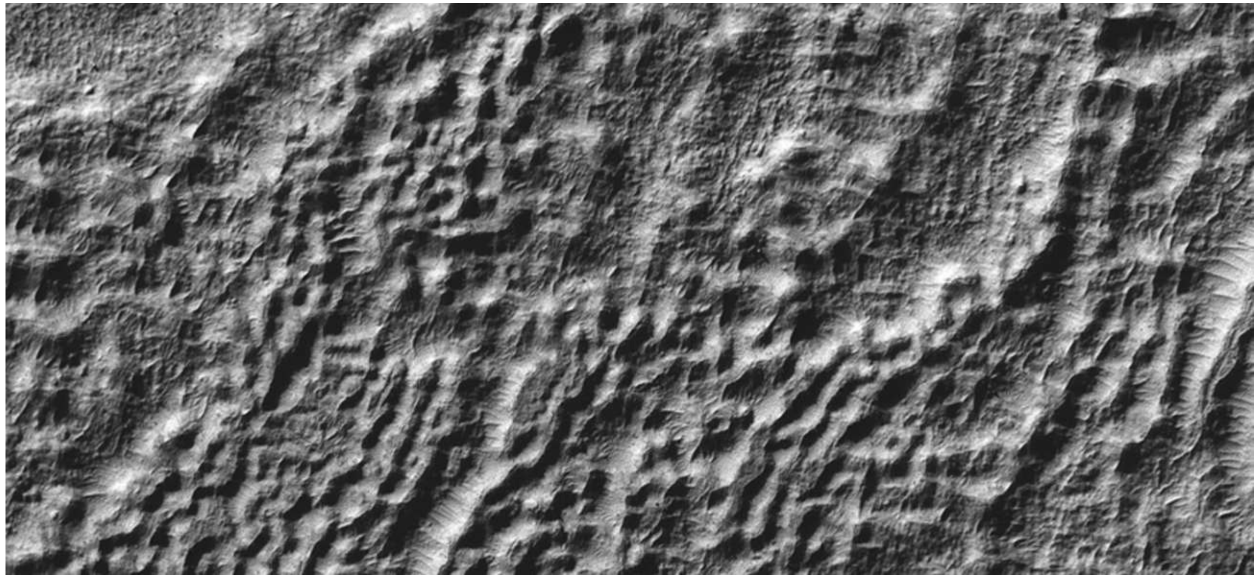


图9.20

火星上的磨蚀地形。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室、亚利桑那大学

南北半球边界地区的第二种显著地形是被称为美杜莎槽沟（medusae fossae，见图9.21）的复杂多面区域。它位于火星北部低地和南部高地的交界处，沿着火星赤道延伸约965千米。它由灰分组成，而灰分很容易被风吹起，并被风和冰沉积重塑。我们还不清楚它的成因，但它的各种特征暗示，它的形成过程受到了撞击和水流的作用。它呈现出很多美丽而奇异的景观，图9.21a和图9.21b展示了其中的两种。

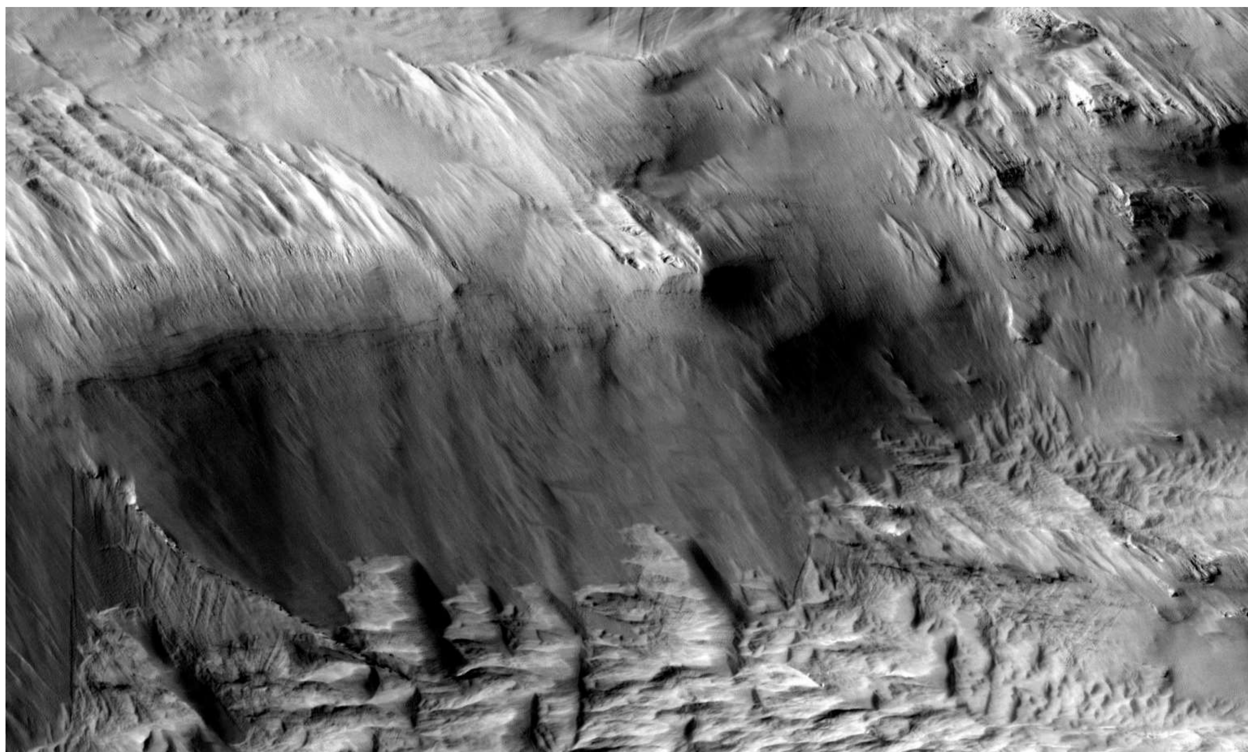


图9.21a

美杜莎槽沟的露头。长条的丘陵被称作雅丹地貌（yardang）注。
图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、亚利桑那大学

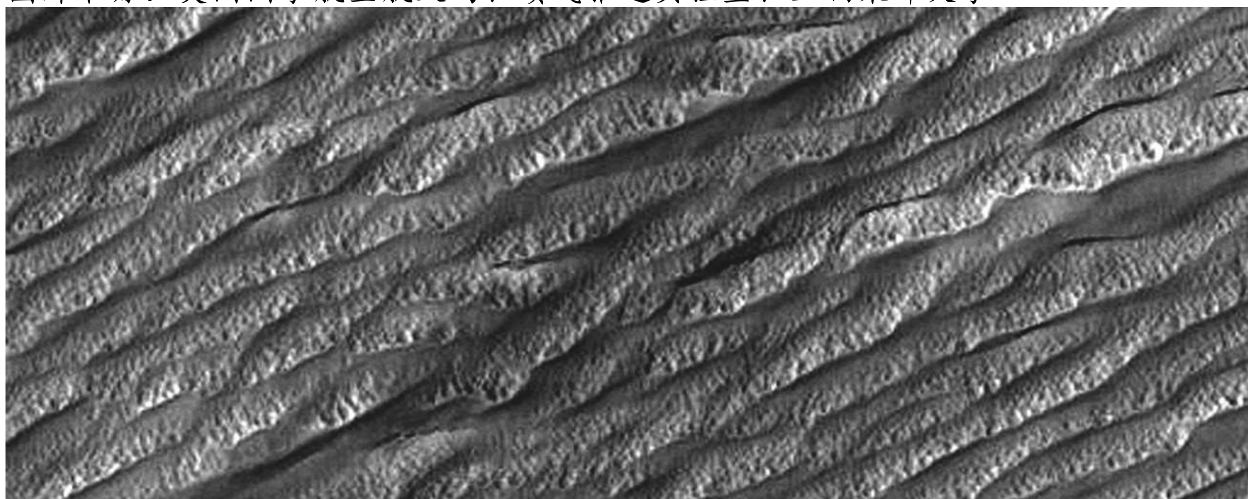


图9.21b

美杜莎槽沟的风蚀。
图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、亚利桑那大学

火星中纬度地区第三个常见的地形被称作贝状地形（scalloped

topography，见图9.22）。顾名思义，这些区域的边界看起来就像贝壳的边缘。如图所示，浑圆的边缘切入周围更高的区域。有人认为，这种地形是距地表不远处的地下冰升华（直接从固体变成气体）造成的。这个过程的具体细节仍在研究中。

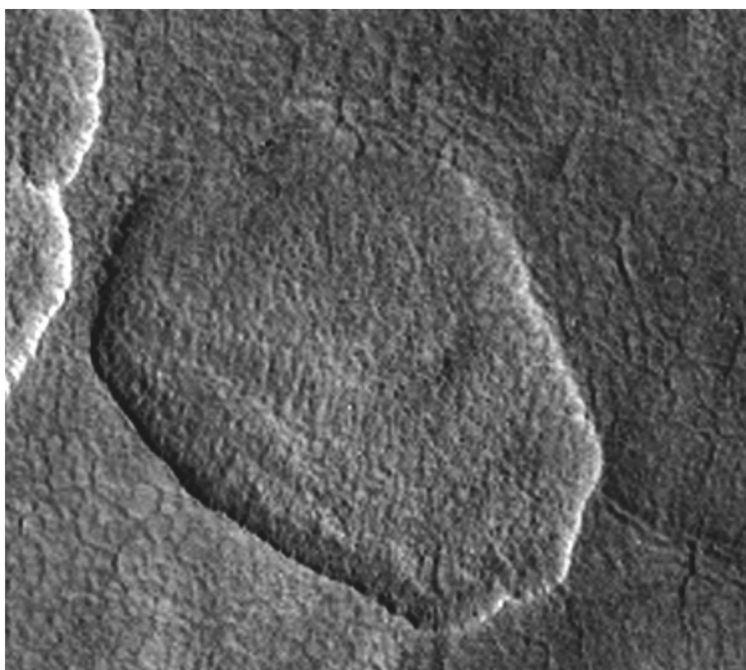


图9.22

火星乌托邦平原（Utopia Planitia）上的贝状地形。陨坑的部分边缘呈贝壳状。图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、亚利桑那大学

这些地形既是绝佳的景观，也是有力地证明了火星的赤道地区存在大量的冰冻水。事实上，天文学家越多研究火星的整个表面，水的影响看似就越显著。如果赤道地区——火星上最温暖的区域——确实存在水，那么在这里修建景点和永久居住地就会容易很多。我们需要建一个庞大（请读作“昂贵”[注]）的运输网络，将极地和赤道连接起来。

低地和高地的边界处还有一个更紧实的地区塞多尼亚（Cydonia）。那里布满形似金字塔、人脸、头盖骨等各种各样的地貌，还有由岩石、沙子和表土组成的其他物体。乍一看，这些都表明，火星在一段时间里曾存在过高级生命。事实上，我们的火星车和轨道器拍摄的火星表面照片越来越多，发现的地貌也越来越多，而这些地貌如

果出现在地球上，总是让我们联想到人类或其他生命活动。

在详细描述塞多尼亚之前，有一个关于高级生命的问题值得一提。英国哲学家奥卡姆的威廉（William of Occam，1280—1349）针对一个事物或事件存在多个合理解释的情况，曾提出一个关键的逻辑规则，称为奥卡姆剃刀原理（Occam’s razor）。它的内容是：对同一概念存在同等精确且相互竞争的几个理论时，应该选择未证实假设最少的那个理论。这是一个所有科学家都接受的指导原则。[注]

谈及上述火星特征，有两种合理的解释。第一，它们可能是由某种高级生命形式创造出来为自己所用的，或者是作为信息传递给地球和其他地方的高级生命的。第二，它们可能是自然地质活动的结果。根据奥卡姆剃刀原理，除非有相反证据，否则对所有这些特征的地质解释应该被视作正确的那一个。简单说来，火星表面附近有不同类型的岩石，有的来自火星内部，有的源于撞击。然后，不同类型的岩石由于物理性质和化学性质的差异，以不同的速度演化（风化），经过几十亿年形成了可识别的地形特征。这个理论不需要我们假设高级生命的存在。我们从来没有在火星上见过高级生命，不管是在火星上进化的生命（由于火星液态地表水和稳定大气层存在的时间太短，所以根本不可能进化出生命），还是其他恒星系统在火星中途逗留的生命（星际外星人）。

有人可能会认为，如果不同表面的风化能够产生如此不同寻常的特征，那么地球上也应该有这些特征。这种想法有一定的道理，而事实上，地球上确实有，比如被称为奇形岩柱（hoodoo）的沉积岩、拱岩、加州莫诺湖（Mono Lake）的盐柱、埃及的蘑菇状白垩岩、怀俄明州拔地而起的魔鬼塔等等。

这里涉及我们大脑的运作方式：我们生来倾向于发现规律和对称性。一张白纸上的平行线或圆圈比随机曲线更容易引起我们的注意。同样，当你看到与其他物体相似的物体时，你会将两者联系起来。假如你正在穿越内华达州的一片沙漠，看到沙土中伸出一块1米高的岩石，你首先想到的可能是“哦，我的天啊，我发现了一个金字塔的塔尖”。虽然

有这个可能，但你看到的或许只是一块变质岩的顶端。它周围的土地由于风化作用正在沙化，逐渐被磨蚀，而它的风化程度没有那么严重。

有些地貌的直径从几厘米到几千米不等，看起来很像地球上我们熟悉的东西，包括金字塔、骷髅、人脸、心形、动物的形状和一个“笑脸”。根据奥卡姆剃刀原理，所有科学家都认为，这些是自然风化的岩层，占火星上可见物体的很小一部分。想想火星表面不计其数的随机形状，我们看到一些可辨认的形状不足为奇。

现在让我们讨论塞多尼亚和你在火星上可能会去探索的其他地方。

塞多尼亚地区

塞多尼亚（见图9.23）具有特别丰富的风成地貌，以及可能的水成地貌，同时还有撞击事件造成的陨坑和喷溅出来的碎片。这里将是火星上最吸引游客的景点之一。



图9.23

火星的塞多尼亚地区。你能识别出多少种看似熟悉特征？提示：你至少能看出一张人脸、一个骷髅、一座或多座金字塔，还有一只正在转向的小鸟。
图片来源：欧洲航天局、德国航空航天中心（DLR）、柏林自由大学（FUBerlin）——G•诺伊库姆（G. Neukum）

水手谷

被称作水手谷的峡谷系统是这颗红色行星最令人心生敬畏的地形。它的名字是为了纪念1972年发现水手谷的“水手9号”航天器（Mariner 9）而取的。这条峡谷长4 000多千米（相当于洛杉矶到纽约市的距离），最宽处190千米，深7千米。作为比较，大峡谷[注]长446千米，宽29千米，深1.6千米。

如果水手谷是早期构造板块运动造成的——看似如此，那么水手谷就是一个裂谷，即由于两个板块分开而形成。由于火星比体积更大的地球冷却得快，所以火星上的板块运动早在几十亿年前就停止了。水手谷的不同部分具有不同的地貌，其中有些地貌表明，火星上存在或曾经存在液态或固态水。谷壁的坍塌程度各不相同，我们从照片上可以看出，坍塌还在继续，尤其在太空碎片撞击峡谷里面或附近而引发谷壁震动的时候。请记住，在你可能到访的所有天体上，这种撞击都会发生。

假设我们能够找到稳固的崖壁，那么我们会在水手谷的不同地方安装有轨拖车或缆车，或者两样都装。这样，你就可以从峡谷顶部到达峡谷的底部，然后再返回。这个过程类似于在美国的大峡谷里上下穿行。我们现在还不知道你的谷底探险会有什么发现。

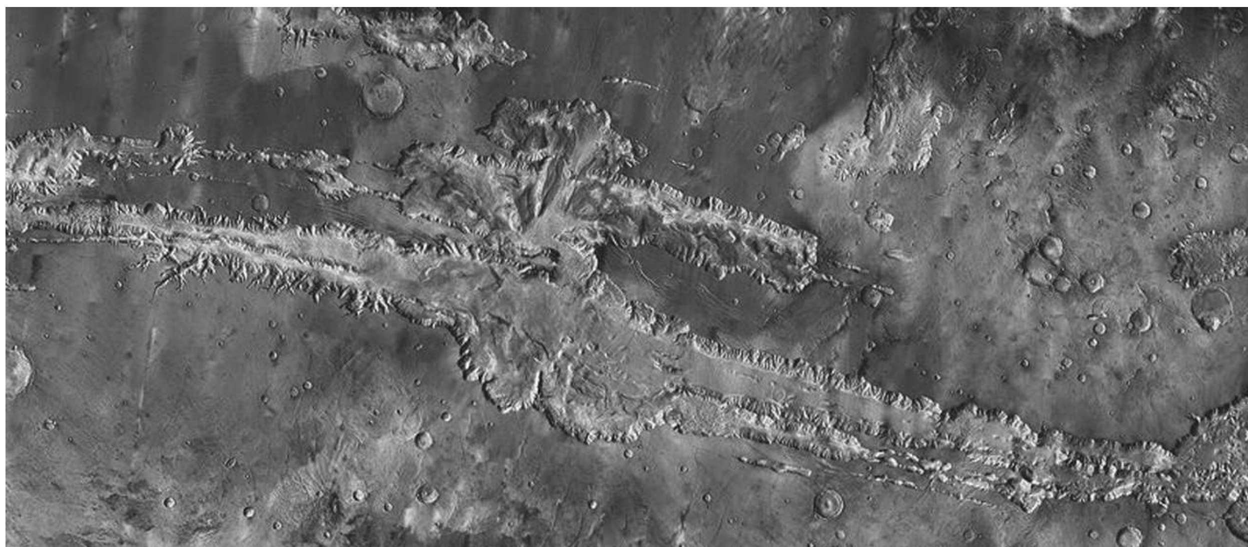


图9.24

水手谷。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室、亚利桑那州立大学

两极

火星的两极有许多有趣的特征。北极的海拔比南极低，并且有一层季节性融冻的固态二氧化碳（干冰）冰盖，再下面是一层永久的水冰冰盖。由于海拔低于南极，北极上空的空气比南极要稠密。空气中的气体越多，空气中储存的太阳光热量就越多，这使北极更为温暖。在夏季，这些热量能融化整个干冰冰盖。

南极也有一层永久水冰冰盖，但冰盖的中心不在南极点上，再往上是以南极点为中心的干冰冰盖。南极的空气较为稀薄，所以在夏季，南极的干冰冰盖不会像北极干冰冰盖那样融化，而是在一些地方形成了一个透明层。太阳光穿过这个透明层，使下面的水冰汽化，产生的气体在干冰层下面流动，侵蚀火星表面，带走一些表土尘埃，然后在找到出口时喷发出去。含尘气体的流动在火星表面留下了一种蜘蛛状地貌（见图9.25）。南面的冰经过风化还会形成瑞士干酪状的表面。

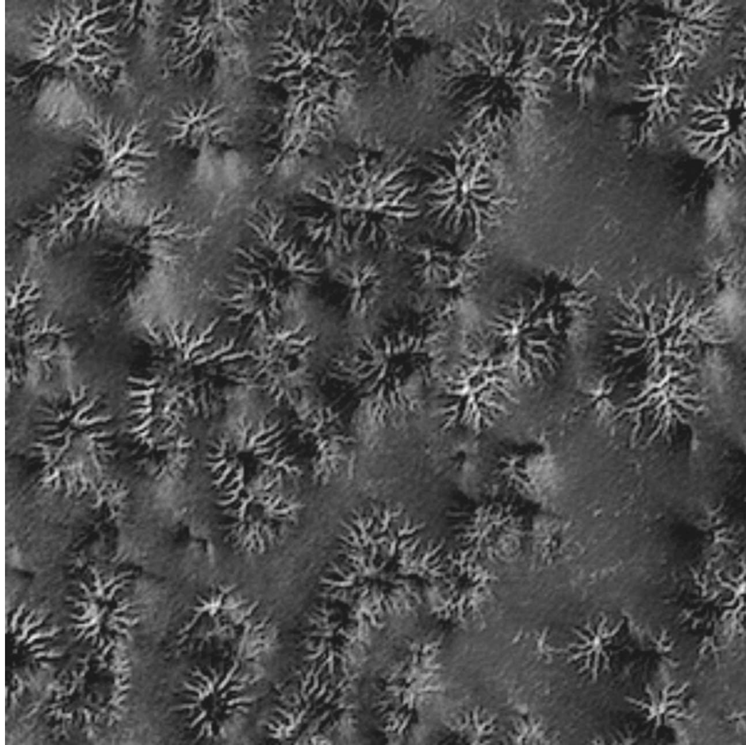


图9.25

火星南极附近的蜘蛛状地貌。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室、亚利桑那州立大学

沉积层

水手谷和火星的其他地方都有大规模（见图9.26a）和小规模（见图9.26b）的岩石分层。在地球上，这种地貌的形成机制可能有几种，包括火山灰沉积、水流和风。岩层在叠加过程中将下面的物质压缩，直到压成坚硬的岩石。我们可能需要对各种沉积层（sedimentary layer）进行详细的研究，才能确认它们的形成机制。

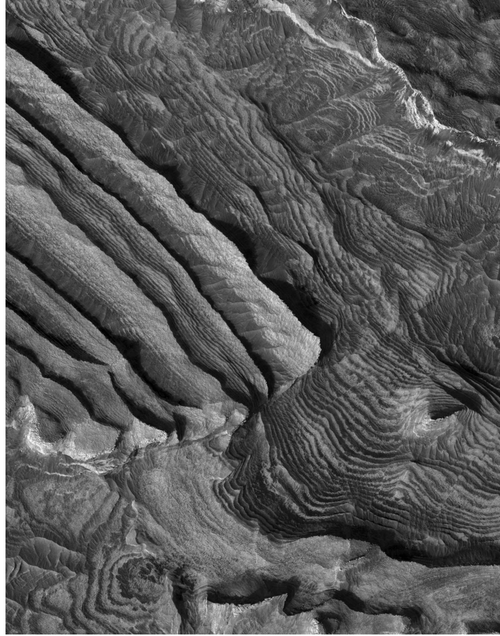


图9.26a

火星表面的厚沉积层，每层大约10米厚。照片所摄区域横跨阿拉伯高地（Arabia Terra）地区大约2千米的范围。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室、亚利桑那大学

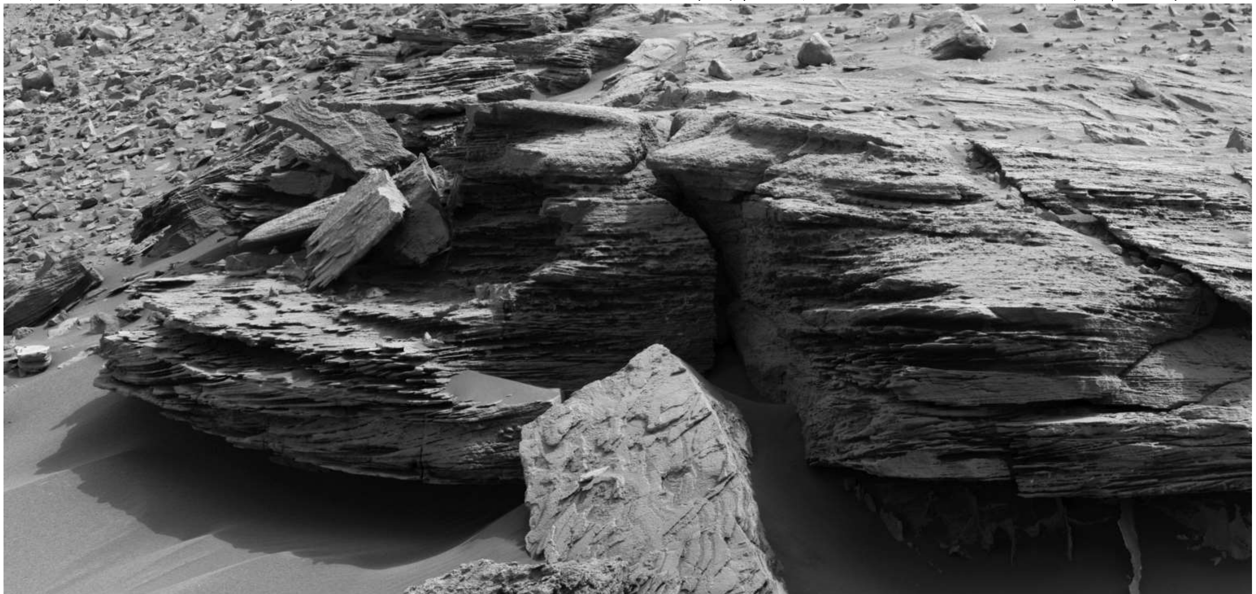


图9.26b

火星上的薄沉积层，层厚小于2.5厘米。照片由“好奇号”（Curiosity）火星车拍摄。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室、马林空间科学系统（MSSS）

极地地区也有岩层。我们认为，这些岩层可能是冰层周期性受热和冷却与风暴尘埃叠加作用的结果。尘埃使冰盖的颜色变深，温度变高。因此，季节性升华的冰量取决于极地过去一年的天气情况。

火山

火星至少有20多座大型火山，都不是活火山。最显著的有4座，其中3座连成一线，统称为塔尔西斯山群，邻近的奥林匹斯山（见图9.27）是太阳系已知最大的火山。你在图9.19中可以看到这4座火山以及其他火山的位置。奥林匹斯山高约26千米，宽约600千米。地球上最大的地表火山是夏威夷的冒纳罗亚火山（Mauna Loa），高10千米（从山脚所在的海底算起），宽120千米。珠穆朗玛峰是地球上最高的山(注)，但也只有8 844米高，所以奥林匹斯山是太阳系最高的山。显然，到火星去看火山一定要去奥林匹斯山。

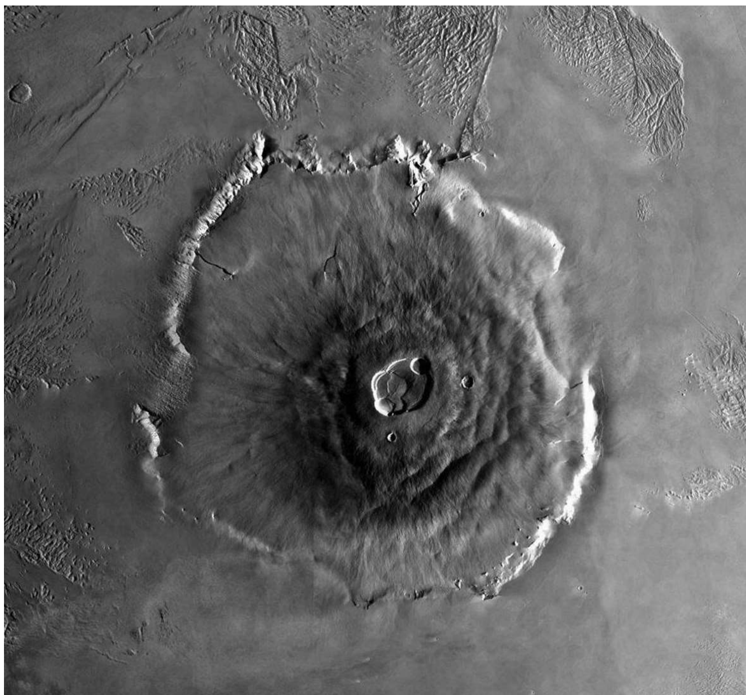


图9.27

火星火山奥林匹斯山。
图片来源：美国国家航空航天局

与冒纳罗亚山一样，奥林匹斯山是一座盾形火山（shield volcano）。换句话说，岩浆从火山里面流出来，而不是剧烈地向上喷发。如果是喷发，那就会形成日本富士山（Mount Fuji）那样的成层火山（stratovolcanoe）。由于岩浆反复地缓慢流出，奥林匹斯山的边缘并不是平缓地过渡到火星表面，而是形成了一圈陡峭的悬崖。这类似于撞击形成的基座陨坑（pedestal crater）。碎片从陨坑中喷出，但并没有平缓地过渡到撞击区域之外的火星表面（见图9.28）。

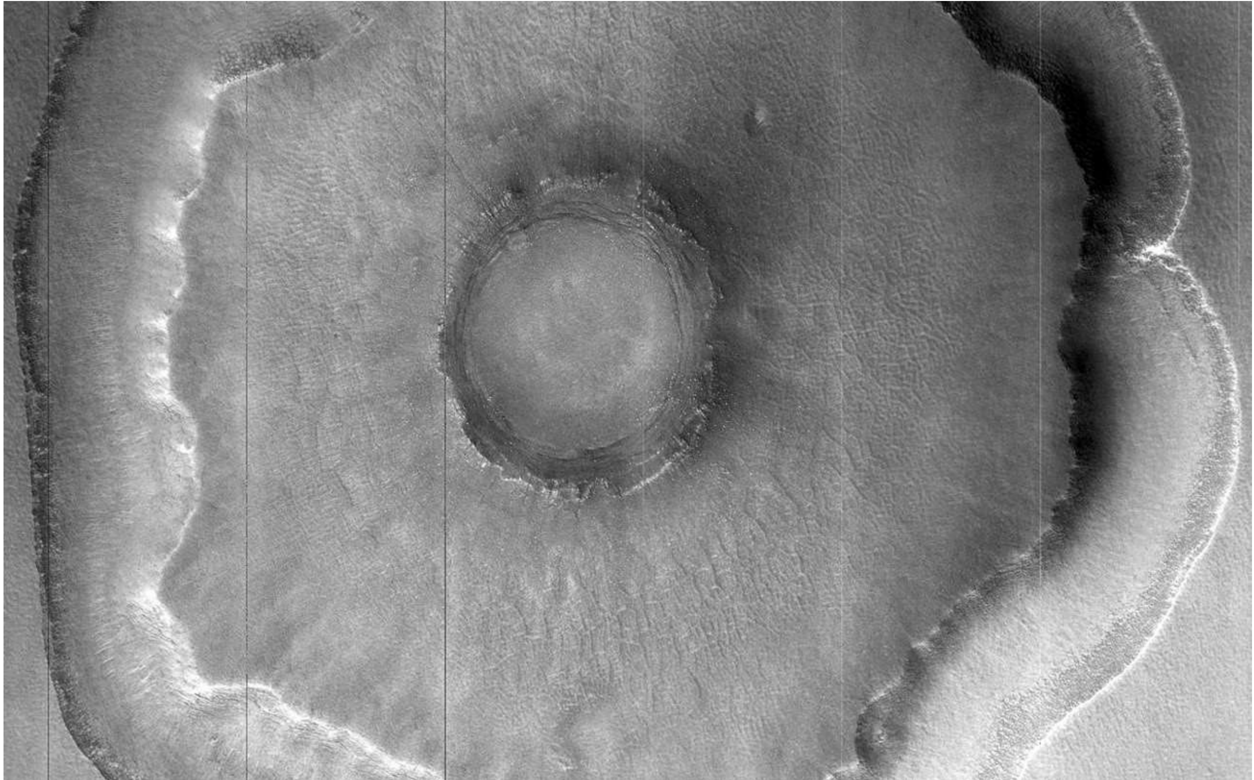


图9.28

火星上的基座陨坑。
图片来源：美国国家航空航天局、加州理工大学喷气推进实验室、亚利桑那大学

同所有的死火山和休眠火山一样，奥林匹斯山的锥顶中央有一个凹陷，被称为破火山口（caldera），在熔融的岩石停止流动时形成。从火山内部升起的剩余岩浆凝固，收缩，从而形成了破火山口（请回想一下，除了水以外，大多数液体凝固时体积都会收缩）。等到你访问火星的时候，可能会有机械运载工具把你带到破火山口。极限运动员还可以

有另外一个选择：徒步登上火山。考虑到距离较长，这可能需要几天的时间。沿途必须要有氧气、补给和居住地，这跟在地球上攀登极限山峰是一样的。

陨坑

成坑现象出现在太阳系除太阳以外的所有天体上。火星遭受过多次成坑撞击，但大部分陨坑已经在40多亿年里被水冲刷和风化。这样看，火星表面与地球表面的演化过程相似，最后留下的陨坑都比月球少很多。火星陨坑具有不同寻常的地貌特征，比如中央峰（central peak）、中央次级陨坑（central secondary crater）、基座陨坑（见图9.28）、坑壁等各种特征，里面甚至还有水结成的冰体（见图9.29）。请记住，对于火星还有我们的月球，成坑过程仍在继续。到任何一个天体，参观新陨坑都会是有趣的经历。特别是在火星内部的水流出来结冰的时候去看，那是最好不过了。

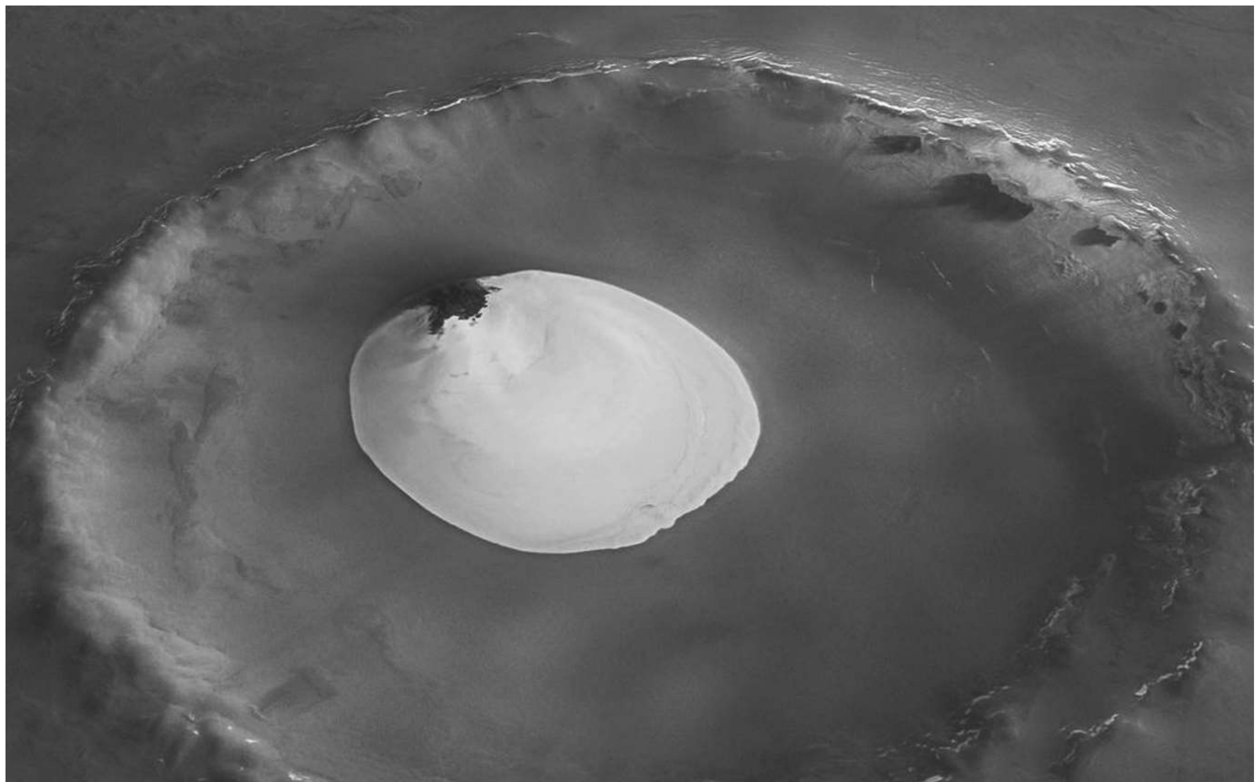


图9.29

一个有水冰的陨坑。
图片来源：欧洲航天局、德国航空航天中心、柏林自由大学——G・诺伊库曼

干涸的河床

正如本章前面提到的，火星上曾经存在液态水的地质证据令人震惊。证据之一就是那些蜿蜒的峡谷（见图9.30a）。在地球上，只有液态水轻缓地流下山坡才会形成这样的峡谷（见图9.30b）。虽然看上去与熔岩流留下的月溪很相似，但大多数地质学家都认为，与地球峡谷一样，火星峡谷是水流形成的。由于今天火星上已经没有流动的液态水，所以这些蜿蜒的峡谷全都是干涸的。你可以到这样的峡谷去探索，陪同你的地质学家会向你解说各种各样有趣的地貌特征（当然，我们现在还不知道有哪些特征）。

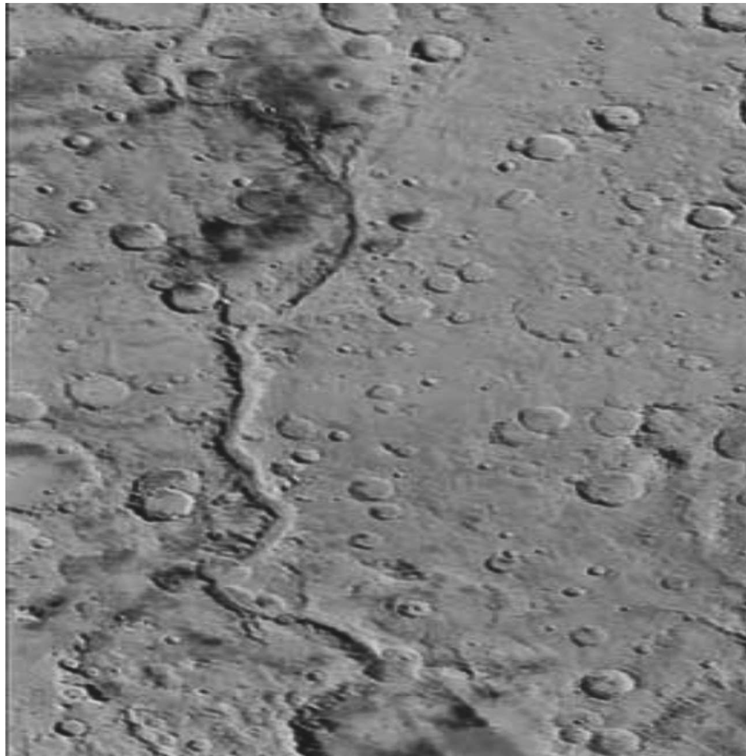


图9.30a

火星上一条干涸的河床。
图片来源：美国国家航空航天局

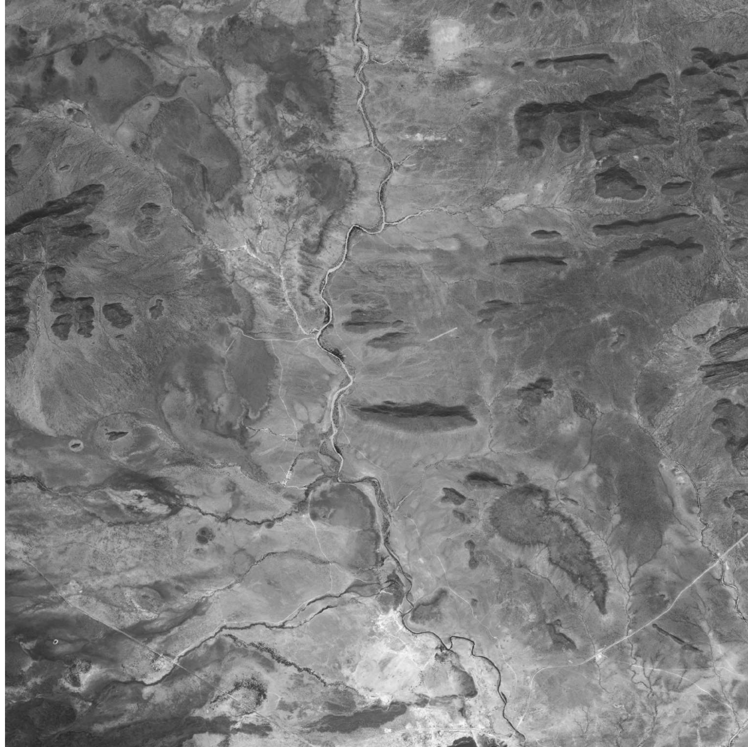


图9.30b

地球上一条流动的河流。
图片来源：美国国家航空航天局地球观测站（NASA’s Earth Observatory）

滨线

火星上的滨线（shoreline）让我们可以洞悉这个世界的早期历史。地球海洋和湖泊的滨线上有大量被风成波浪冲上来的碎片。如前文所说，有大量证据表明，火星北部地区曾是一片汪洋大海，早期陆地上也点缀着湖泊。如果属实，那么这些早已消失的水体的滨线还可以提供地质学或许还有生物学证据。

这些证据可能包括被波浪冲刷磨圆的岩石，浸在水中经历化学变化的岩石，或许还有早期火星生命的壳体化石。

其他常见的表面特征

我们还发现了火星表面许多其他有趣的特征，值得你一看。比如赤铁矿（hematite），不仅值得一看，还值得收集。赤铁矿是一种铁的氧化物。在地球上，赤铁矿从富含铁的水中析出，形成一种晶体结构，常常带着一种灰色调，可以呈现黑色、银色、锈红色或褐色。火山活动也可以产生赤铁矿，不需要水的存在。赤铁矿可用于制作珠宝，也有许多其他用途。火星上的赤铁矿似乎是由溶解在水里的铁形成的，但其他形成机制仍在研究之中。我们已经在火星的几个地方都发现了赤铁矿，大多数呈小圆球形，称为赤铁矿球（spherule，见图9.31），直径通常为0.6厘米或更小。

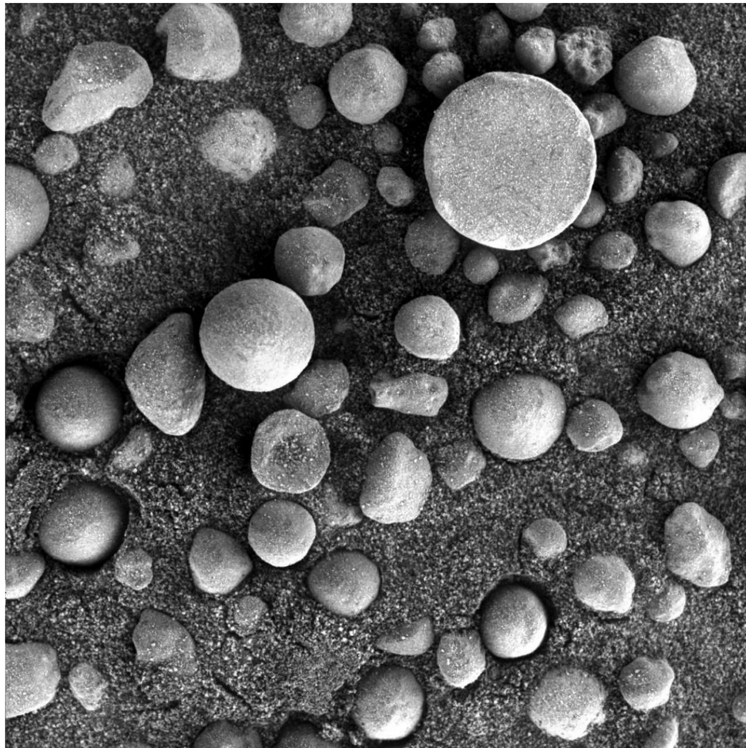


图9.31a

火星赤铁矿球的特写。赤铁矿球因为呈深灰或深蓝的颜色，有时被称作“蓝莓”。照片由“机遇号”（Opportunity）火星车拍摄。
图片来源：美国国家航空航天局

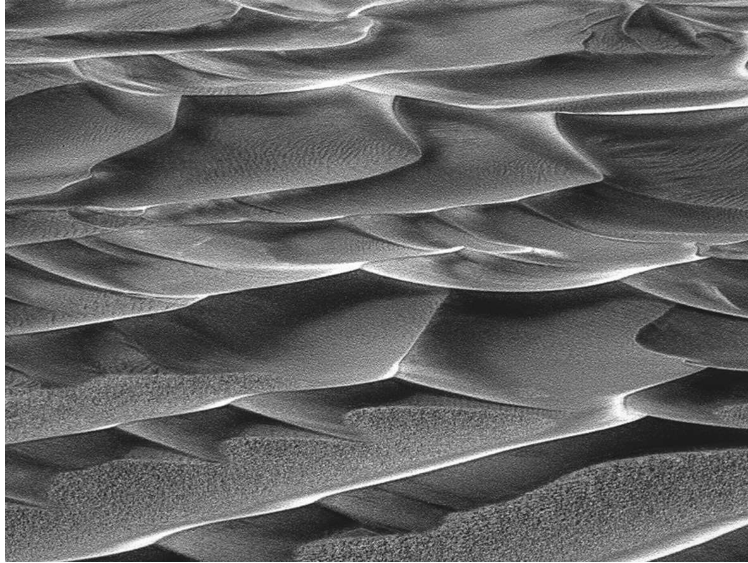


图9.31b

耐力坑（Endurance Crater）沙丘里的赤铁矿球。照片由“机遇号”火星车拍摄。
图片来源：美国国家航空航天局

我们已经在火星上观察到几百万个这样的小球，带上几个返回地球应该不错。

沙丘

如前文所说，火星表面覆盖着表土尘埃和稍大一些的表面颗粒，后者跟地球上的沙子差不多大小。盖层厚薄不均，于是就形成了沙丘。与这颗行星的其他方面一样，我们对它的表面盖层也知之甚少，比如大部分盖层的化学成分。我们可以确认的是，风把火星的表面盖层吹成了各种有趣的形态（如图9.31b，9.32a、b和c），去那些地方看看将是火星之旅的一个亮点。

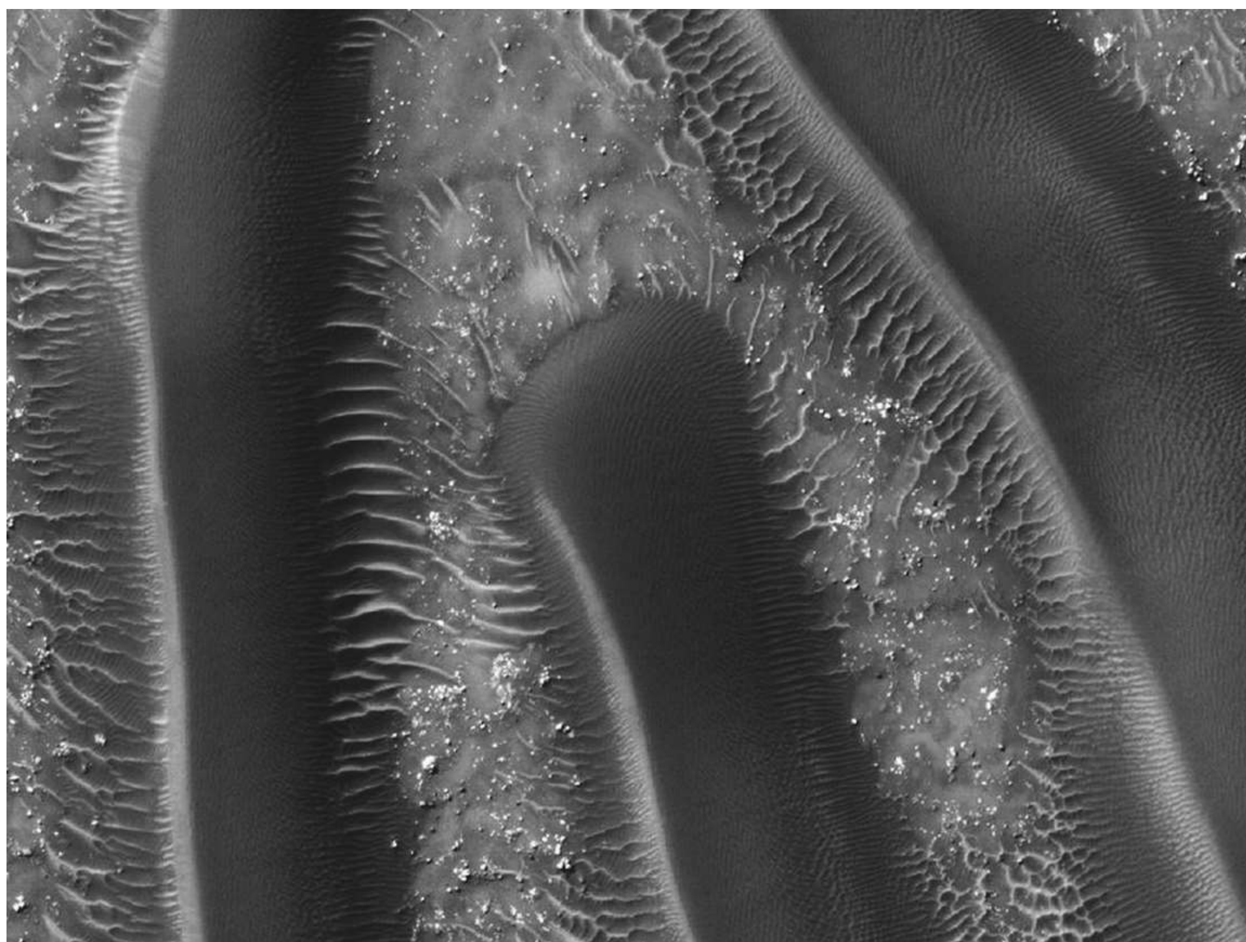


图9.32a

火星上的沙丘。风从照片右方吹来，形成了这些显著的沙丘。
图片来源：美国国家航空航天局

沙丘。白色部分是霜，深色沙粒上面大多覆盖着浅色沙粒。有些颜色更深的沙粒在滑下山坡时留下树状条痕。

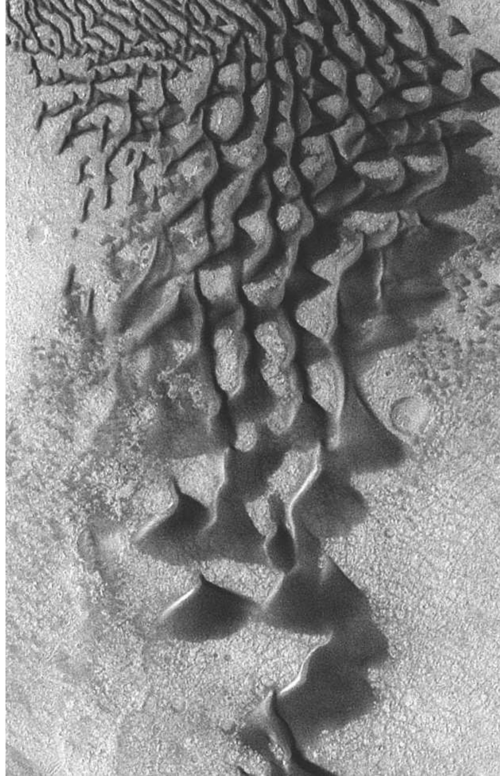


图9.32b

被风塑造的沙丘。风从照片上方吹来。
图片来源：美国国家航空航天局



图9.32c

沙丘。白色部分是霜，深色沙粒上面大多覆盖着浅色沙粒。有些颜色更深的沙粒在滑下山坡时留下树状条痕。

图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、亚利桑那大学

冰川和脑形地貌

火星上有类似于地球冰川的水冰沉积，其中一些呈现一种被称为脑形地貌（brain terrain）的迷人结构（见图9.33）。它的起源和演化仍在研究中，但实地观察应该会是一段很美好的经历。



图9.33

火星上的脑形地貌。许多冰褶皱把一座小丘陵包裹起来。
图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、亚利桑那大学

尘卷风痕迹

我们都听说过或看见过龙卷风的惊人破坏力。龙卷风所到之处，人命不保，房屋被毁，甚至整座城镇都被夷为平地。在暴风雨中，气压和气温的差异能使空气形成高速旋转的气柱，这就是龙卷风。在地球上，强度小得多的旋转气流被称为尘卷风。尘卷风刮过地表时，会把地面上的尘埃吸进去。你在图9.34a中可以看到两个人向尘卷风跑去，这说明尘卷风的危险性比龙卷风小得多。



图9.34a

美国亚利桑那沙漠的尘卷风。
图片来源：美国国家航空航天局

我们观察到，火星上多次出现过尘卷风。我们可以像图9.34b那样，直观地看到尘卷风。或者，我们可以使用激光雷达（光探测和测距）设备来观察。因为尘卷风与地面接触，所以它会在表土上留下显著的痕迹（见图9.34c）。虽然火星尘卷风的气压相对较低，但还是可能造成危险，比如灰尘进入敏感设备、灰尘与人造设备之间发生化学反应、静电吸附等。还有一个潜在危险，那就是尘土被吸入之后（比如你脱掉宇航服的时候）会损害身体内的化学物质，但这一猜测尚未得到验证。火星尘卷风会很引人入胜，但除非我们明确知道这样做没有危险，否则无论是开车还是徒步，我们都不要走近为好。

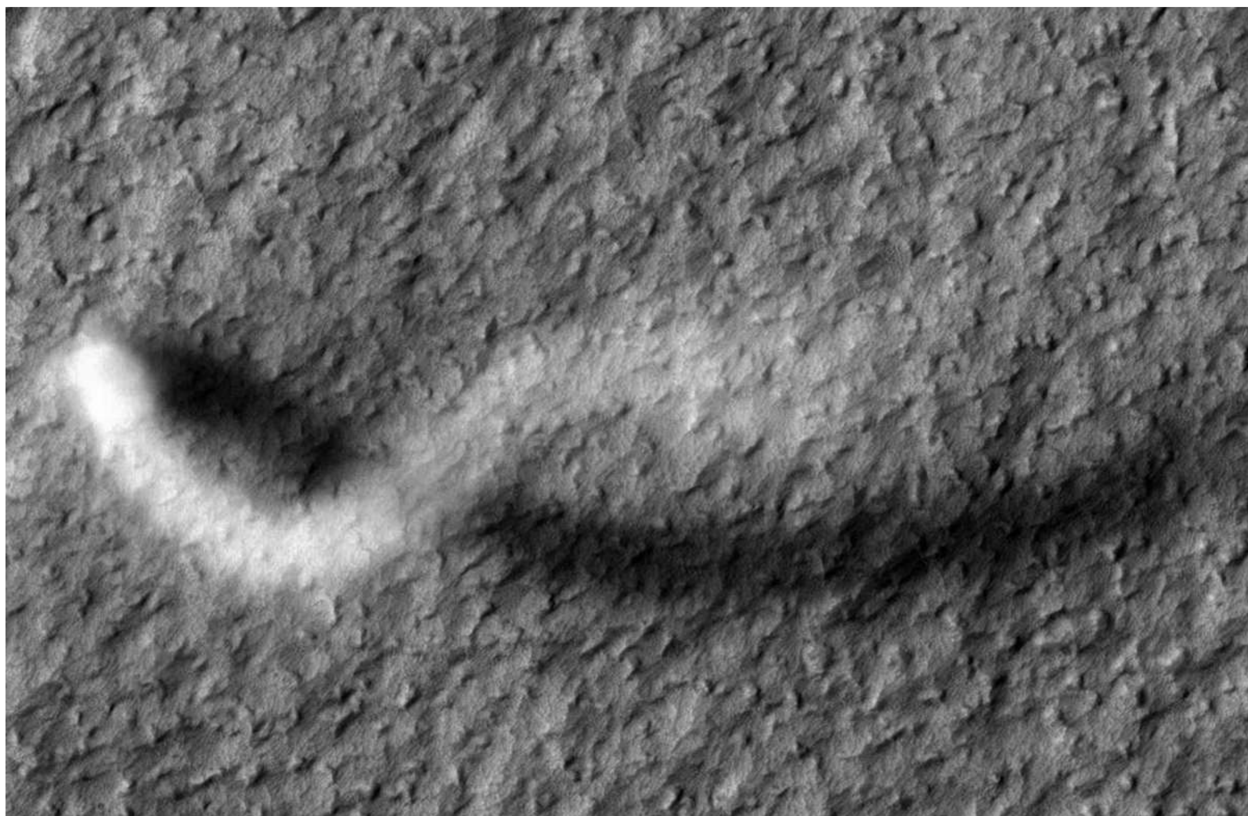


图9.34b

从上方拍摄的火星尘卷风。
图片来源：美国国家航空航天局、密歇根大学（University of Michigan）

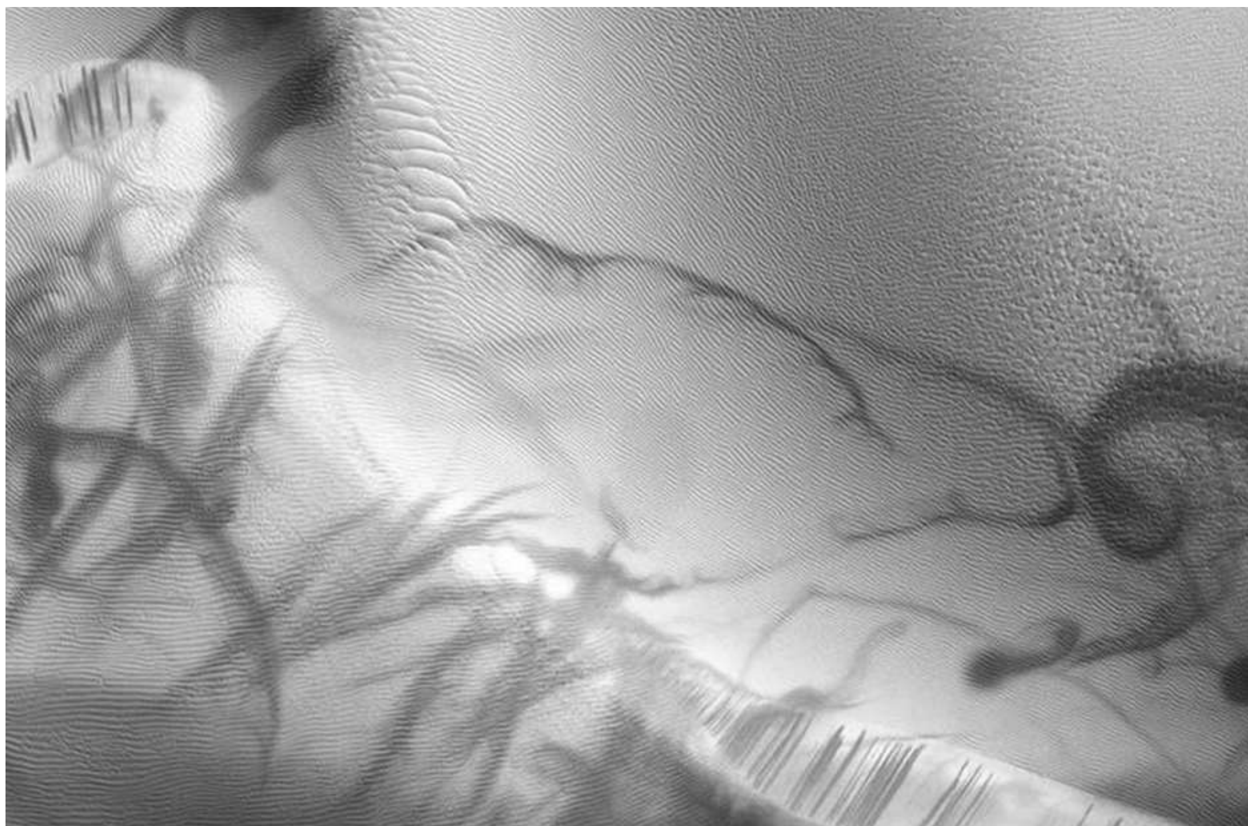


图9.34c

火星尘卷风留下的痕迹。
图片来源：美国国家航空航天局

到布满尘卷风痕迹的地方去看看也很有趣，跟其他地形一样也会给你带来视觉冲击。其实，如果火星上的技术条件允许你到附近的山顶或从航天器上看过去，那景象将会特别震撼。没有任何理由阻止你从尘卷风痕迹上走过去——它们没有值得保留的历史或科学价值。

坡面条痕

坡面条痕（slope streak）的外观与尘卷风痕迹相似，但起源不同（见图9.35）。这种地貌特征通常以基本相互平行的群组出现在陡峭的坡面上，比如陨坑壁或悬崖壁上。它的成因尚不清楚，但看起来像是表面碎片小规模崩塌造成的。

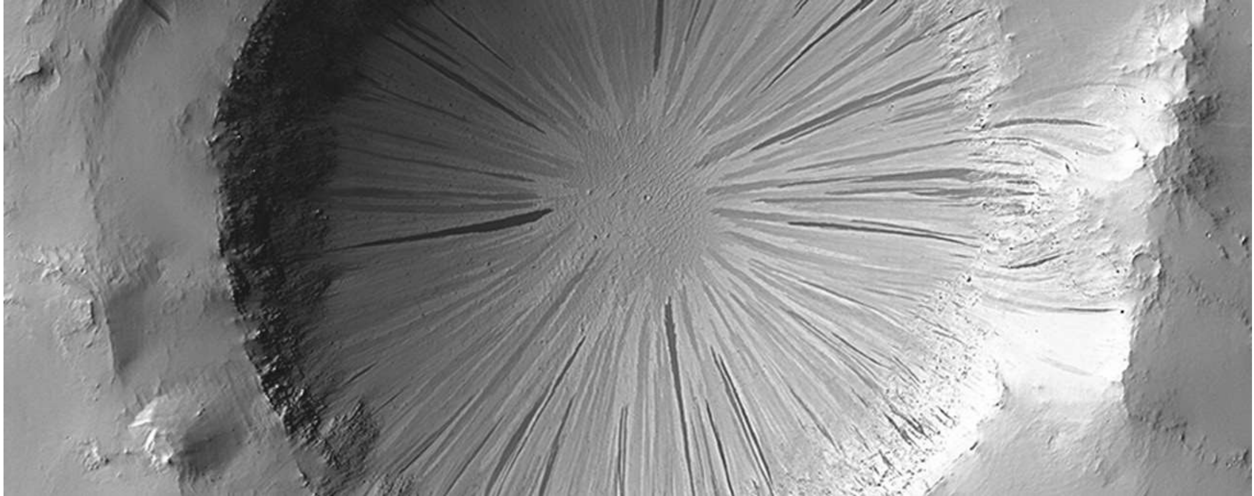


图9.35

一个火星陨坑的坡面条痕。
图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、亚利桑那大学

活动的峡谷壁和冲沟

你会看到许多火星陨坑壁和峡谷壁（canyon wall）上有冲沟（gully）和其他地貌特征，有些可能是液态水流下或冰滑下山坡时留下的痕迹（见图9.36a）。这些特征源自2015年在火星上发现的流动液态水，还是周期性结冰和融化产生的水流，或者根本与水无关，我们尚不清楚。此外，发生在附近的撞击可能引起震动，使得大面积的陨坑壁和峡谷壁现在仍然在垮塌（见图9.36b）。当你游览峡谷或走到陨坑口时，要非常小心，因为那里可能很不稳定。即便你在边缘上行走，也可能会引起小滑坡，把你带下去。

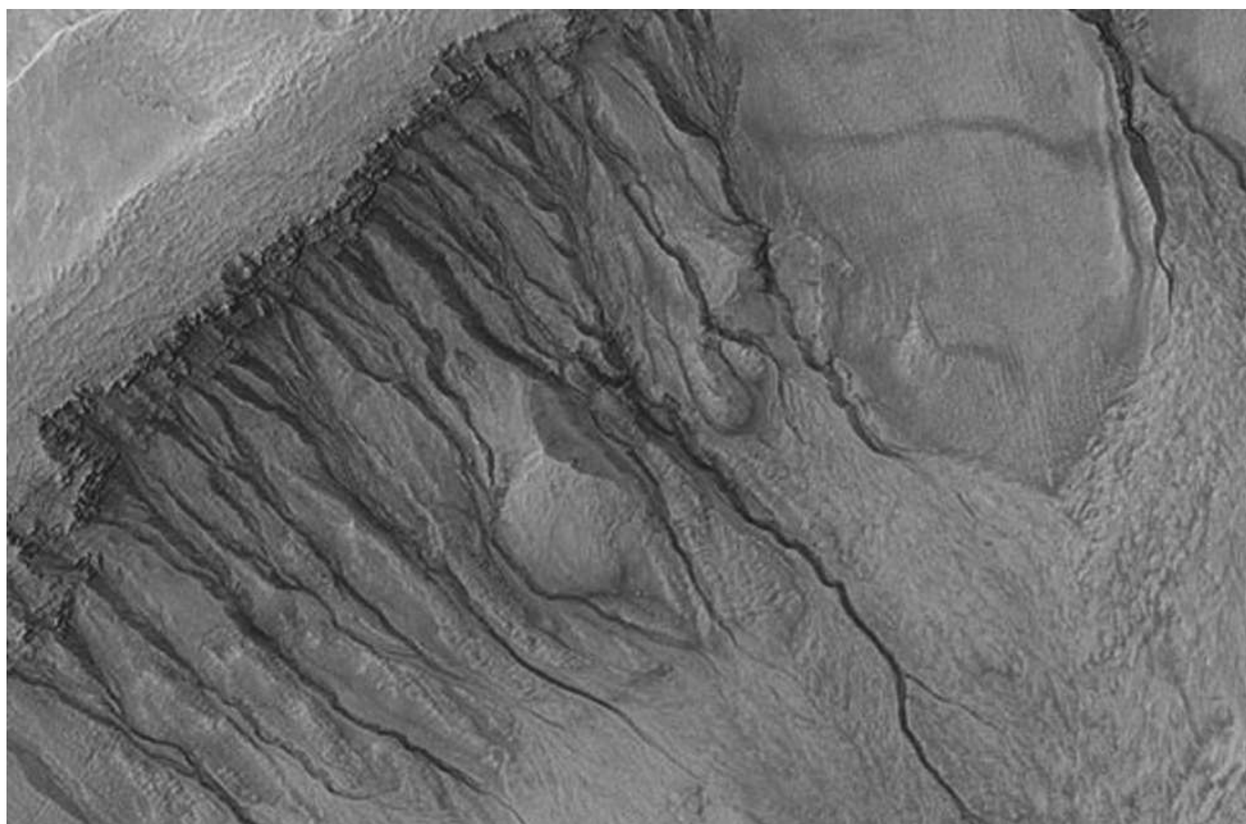


图9.36a

牛顿坑（Crater Newton）坑壁上的冲沟和其他地貌特征，可能是干冰块滑坡时留下的。
图片来源：马林空间科学系统、火星全球探勘者号探测器（MGS）、喷气推进实验室、美国国家航空航天局

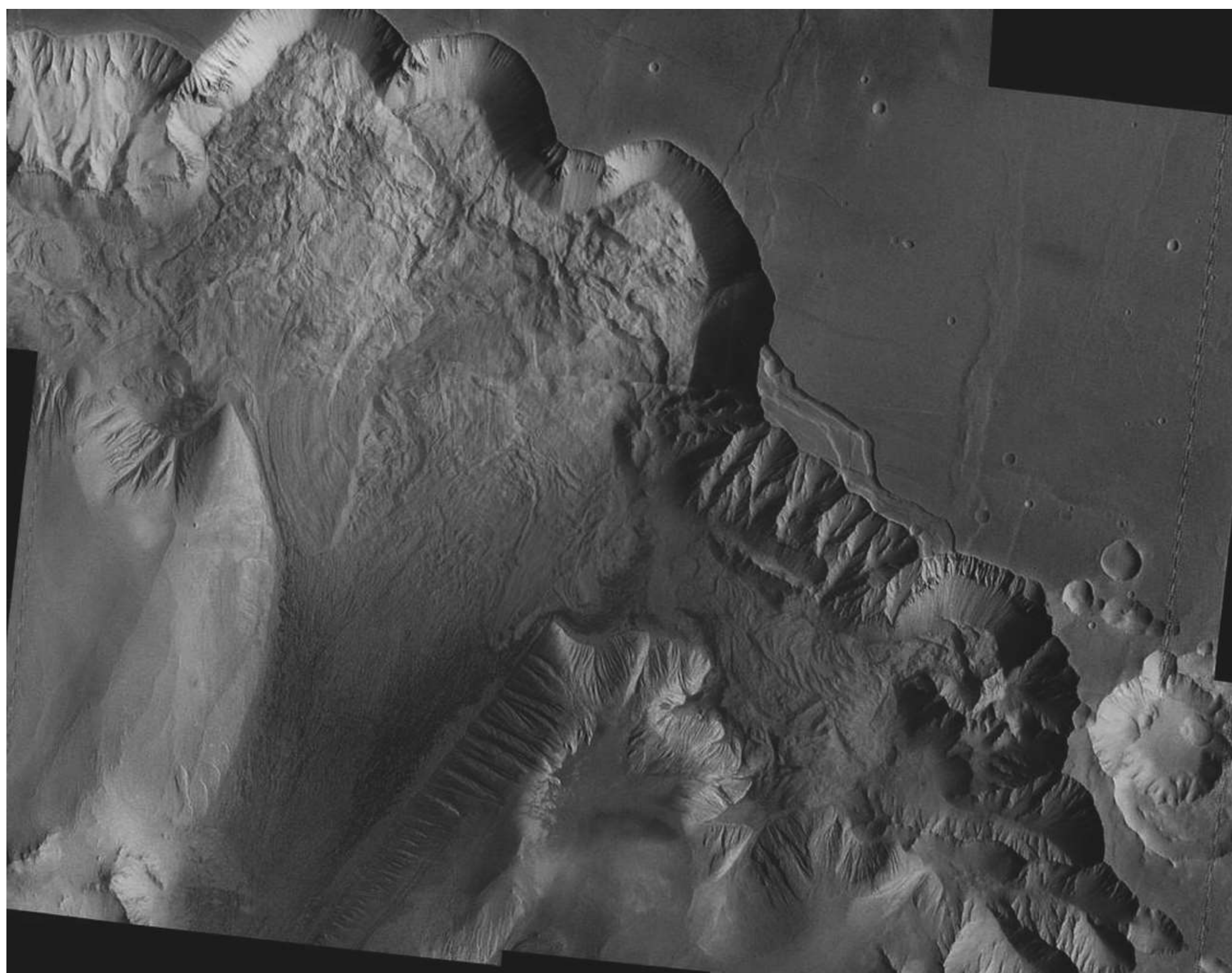


图9.36b

水手谷谷壁的侵蚀。
图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、美国地质调查局

你的旅行公司可能会安排你从远处触发一次滑坡，比如用炸药。这样，在确保你和其他人安全的前提下，你们可以目睹大量碎片滑下山坡的景象。此外，这样做可能还有一个很有力的科学动机。火星表面没有稳定的液态水，但在距表面不远处或许存在地下蓄水层。如果一颗流星撞击蓄水层的上面或附近区域，水就会流出来，在陨坑里留下冲沟和其他地貌特征。假以时日，要么水会流尽，要么被水带起来的表土把孔洞或裂缝堵住。为了直接研究那些水，科学家可以在陨坑或峡谷的边缘制造滑坡来寻找水，而如果水确实存在的话，他们还可能找到水中的生命。

对某些冲沟的成因，另一种合理的解释是干冰块（冰冻二氧化碳）滑下山坡时形成的。在地球上，干冰会升华，在冰块下面形成缓冲气垫，使冰块从山坡滑下去，从而形成冲沟。如果这两种解释里有一个是正确的，那么到底哪一个正确，还有待确定。

混沌地形

火星上有一些极为粗糙的表面区域，被称为混沌地形（chaos terrain）。太阳系的几个天体都有这样的区域。这是很多地质和天文事件共同作用产生的地貌特征，不同于地球上的任何地形。例如，水星受到强力撞击，产生的波（类似声波）穿透这颗行星，从它的另一面冒出来，把行星表面搞得乱七八糟（见图9.37a）。火星有各种混沌地形，呈现出不同的地貌特征。我们对这种地形的成因尚不肯定，但很可能是由于水的活动，比如冰的融化、洪水泛滥、结冰和水的流动等等。图9.37b是火星表面的混沌地形。

天空的颜色、日出和日落

表面特征并不是火星唯一不同于地球的方面，那里的天空也不一样。地球白天的天空是蓝色的，而火星的天空通常呈现铁锈色，容易让人联想到太妃糖的颜色。我们的天空呈现蓝色是因为我们的空气选择性地散射波长较短的光（紫色、蓝色、绿色），而不是波长较长的光（黄色、橙色、红色）。太阳发出的超强蓝色光，经地球大气层散射，把天空变成蓝色。这种散射的具体原理由瑞利勋爵[注]在1871年第一次计算出来，因此又被称为瑞利散射。火星大气层中的尘埃颗粒远远大于可见光波长，由此产生的另一种散射形成了火星天空的日常颜色。这种散射被称为米氏散射，由德国物理学家古斯塔夫·米（Gustav Mie，1869—1957）在1910年提出。总的来说，火星大气层主要将波长较长的可见光散射到火星表面，使它的天空呈现出锈红色。在大气中的尘埃含量特别

低的时候，瑞利散射开始起作用，天空中蓝色的色调会增加。

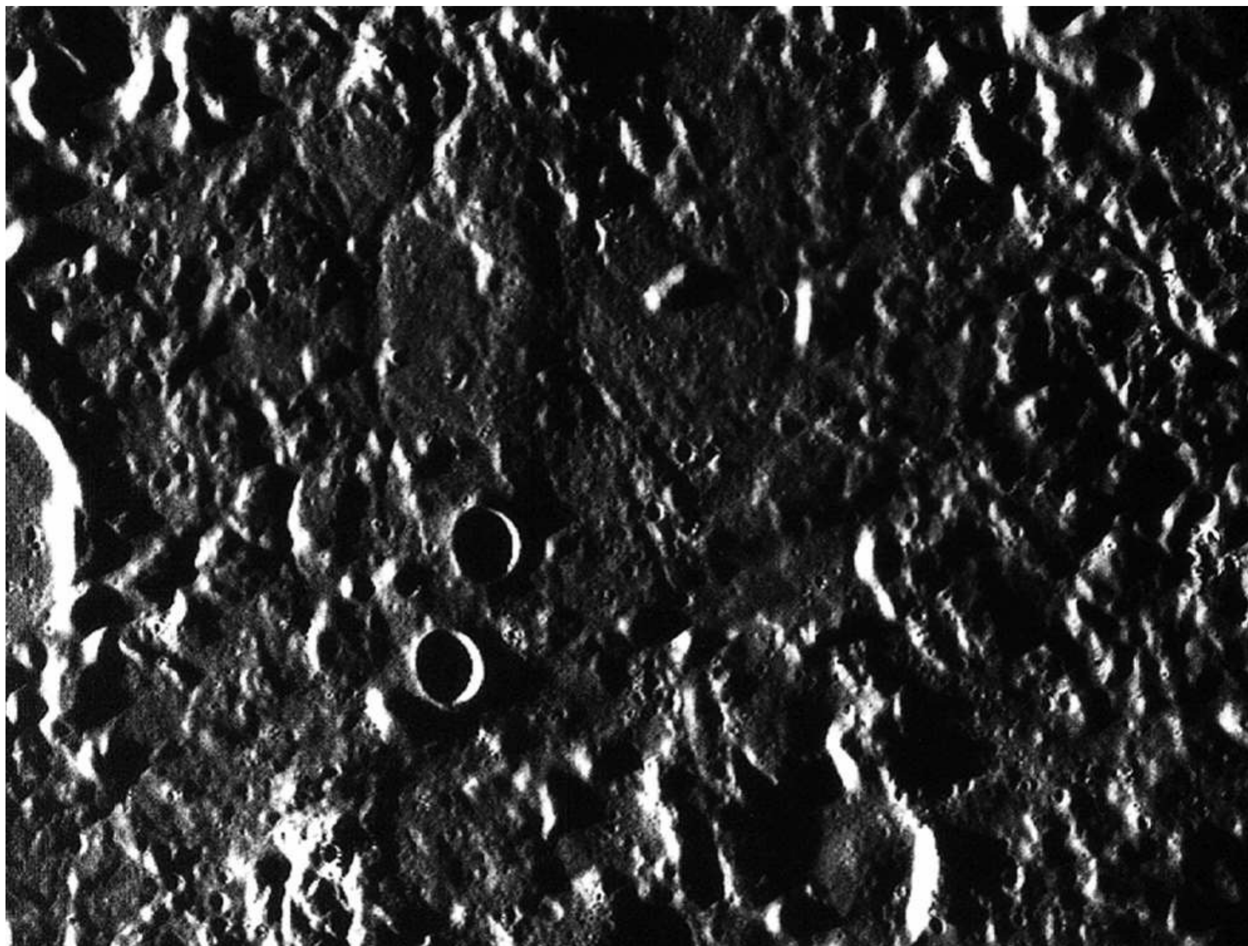


图9.37a

水星的混沌地形，位于撞击点卡洛里斯盆地（Caloris Basin）的另一面。
图片来源：美国国家航空航天局

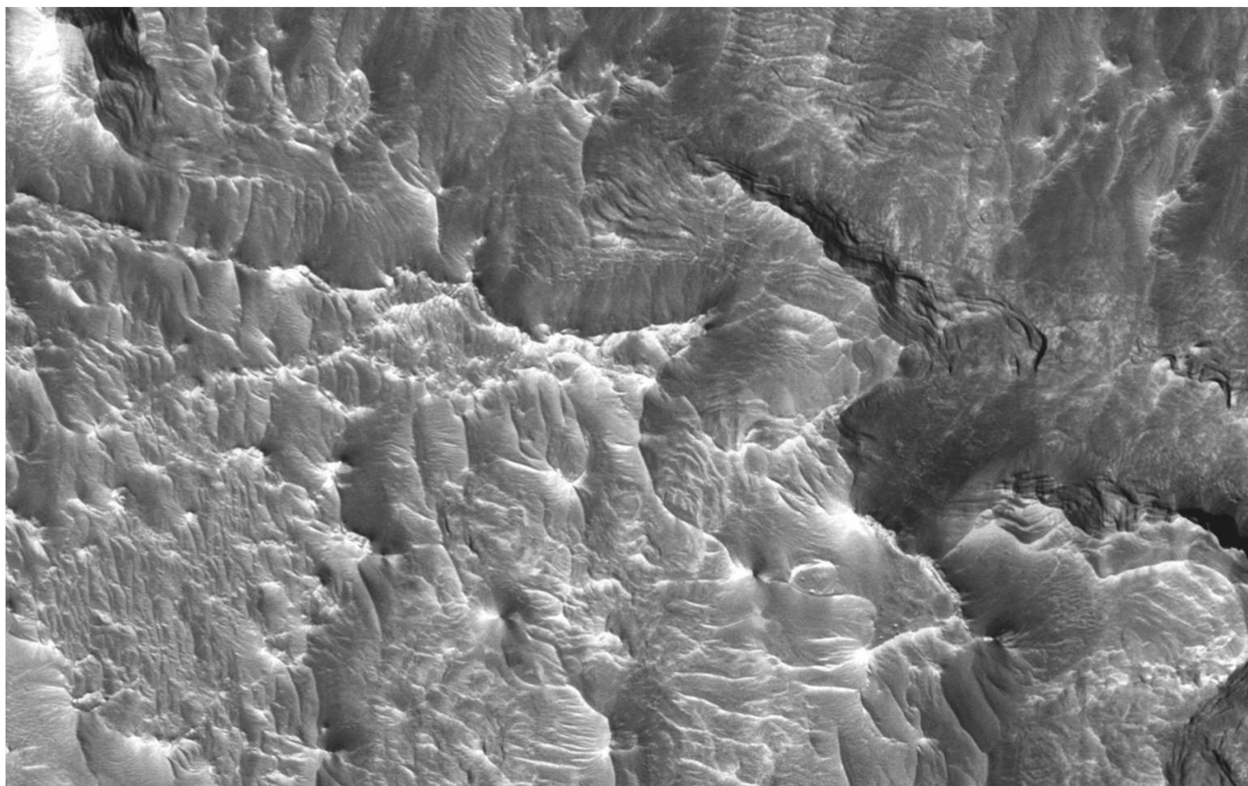


图9.37b

火星的混沌地形。照片拍摄的是水手谷东部一片大约370千米宽的区域。
图片来源：美国国家航空航天局、喷气推进实验室、亚利桑那大学

有趣的是，在日出和日落时，太阳周围的天空主要把蓝色光散射到火星上。因此，火星上的日出和日落是蓝色的，即使在尘土飞扬的日子里也是如此。总之，火星天空的颜色基本上与我们在地球上看到的相反——我们看到的是橙黄色的日出和日落，还有通常是蓝色的天空。

风和风暴

虽然火星大气压只有地球大气压的0.6%，但它仍然能够产生强风，把大量表面尘埃吹到空气中去。在合适的条件下，强风吹起的尘埃能够弥漫整个大气层。这种现象近期发生过几次，其中一次出现在2001年（见图9.38）。自1877年以来，人们已经观测到10次这样遮天蔽日的火星全球风暴了，每次持续了大约半个地球年。在火星的不同地方，我们

观测到更多局部沙尘暴，通常持续数天或数周。如果你在火星上遇到一场局部或全球沙尘暴，你会发现所有东西上除了有静电吸附的尘埃，还会再蒙上厚厚的一层灰尘。然而，正如第2章指出的那样，火星空气密度太小，即便是最强的风也吹不倒你。

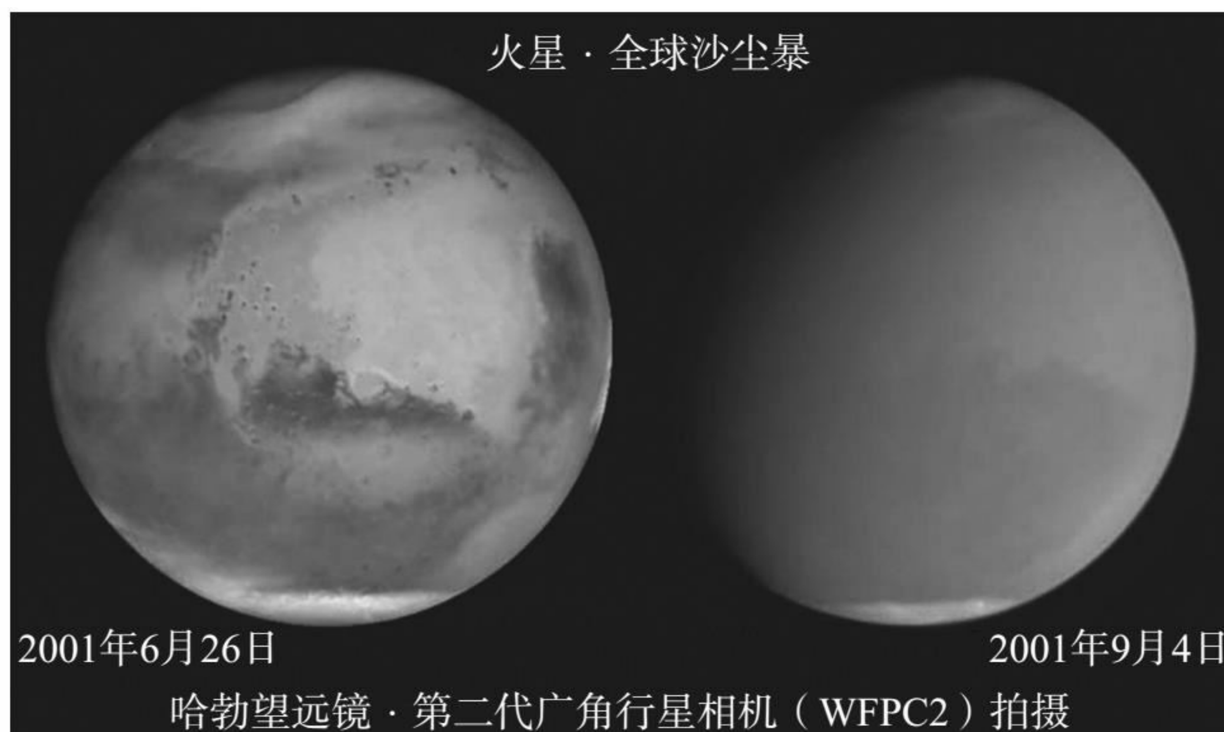


图9.38

无沙尘暴（左）和有沙尘暴时的火星。
图片来源：NASA

火星车及其痕迹

在月球上，“阿波罗号”飞船的登陆点和其他历史性地点可能不会对游客开放。同样，火星上的火星车也可能会就地留存。届时，会有一些供游客参观的登陆点（见图9.39），包括那些坠落到火星上的航天器。有些登陆器还配有火星车，所以你可以从登陆器到跟它配套的火星车那儿去看看。

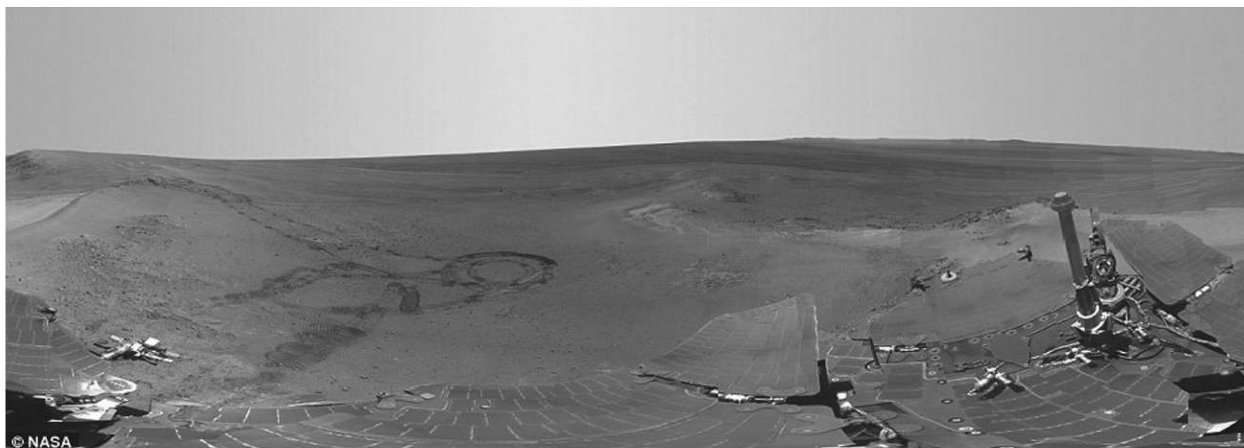


图9.39

在“机遇号”火星车上看到的火星表面。
图片来源：美国国家航空航天局

永久居住地

如果一切顺利的话，我们将于本世纪（21世纪）在火星上建立永久殖民地。火星受到的辐射量可能会使大部分建筑物都建在地下（我们马上会展开这个话题）。因此，如果你到这些地方去，别指望可以开车穿行于高楼大厦和大街小巷。在地下居住地，照明的亮度将随着火星的昼夜更替而变化。正如第7章所讨论的，这种循环对人体的正常运行至关重要，因为我们的生物钟经过进化已经适应了地球每天24小时的明暗循环。好消息是，火星的昼夜循环是24小时37分钟。尽管这比我们所习惯的地球日稍微长一点，但我们的生物钟还是能够正常运行的。

未知但可能存在的地貌特征

天文学家和太空地质学家不过是刚刚触及火星的表面。在火星表面和火星内部，很可能还有很多未知但值得一看的东西，比如地貌特征繁多的洞穴（钟乳石和石笋）、地下液态水蓄水层、地表和地下矿脉、生物或生物的残骸等。敬请关注！

1. 查尔斯·惠斯通爵士（Sir Charles Wheatstone，1802—1875），英国著名物理学家、发明家，在电学和光学领域均有重要贡献，他最知名的成就是对惠斯通电桥的推广应用。
2. View-Master，谷歌和美泰联合开发的虚拟现实玩具眼镜，其前身是1939年纽约世界博览会问世的三维魔景机。通过与智能手机搭配使用，眼镜屏幕会呈现三维虚拟现实，让用户能够亲身体验在现实课堂上无法触及的世界，比如世界各地名胜、太空、海底世界等。
3. 由于惯性。
4. 疏散星团是几颗甚或几千颗聚集起来的年轻恒星在几百万年里逐渐疏离的结果。我们的太阳系可能形成于一片疏散星团中。球状星团由多至成千上万颗被万有引力束缚在一起的恒星组成。
5. 埃姆斯研究中心（Ames Research Center），1939年12月成立，是美国国家航空咨询委员会（NACA）的第二个实验室。1958年，委员会解散，所有资产和人员转入美国国家航空航天局。中心的名字取自该委员会的创始成员之一，物理学家约瑟夫·斯威特曼·埃姆斯（Joseph Sweetman Ames）。
6. 之所以说“随地球”，是因为与我们的直觉不同，月球并不是围绕地球转动的。事实上，两者围绕着共同的质心转动。这个质心位于两者中心连线上距离地球表面1 712千米的地方。理论上讲，任何成对的两个天体都以这样的方式转动，比如地球和太阳。你可以把这想成两个在舞池里跳华尔兹的人。
7. 特氟龙（Teflon），杜邦公司早年开发的一种不粘涂层，主要成分为聚四氟乙烯，广泛应用于炊具。
8. 这种现象称为地球反照，又称地照，指地球表面反射太阳光、照亮邻近天体（一般是月球）的现象。
9. 不是每次满月和新月的时候都会出现月食，因为月球绕地运动的轨道面与黄道面呈大约5°的夹角。在满月和新月的时候，月球往往位于黄道面略上或略下的位置，所以月球和地球的影子互不干扰，不会出现月食。
10. 原文为“Apollo 17”（阿波罗17号），有误。
11. 陨坑（crater），也译作环形山、陨击坑或月坑，本书统一译作陨坑。对于已命名的陨坑，统一译作坑，如西奥菲勒斯坑。
12. 岬（Promontoriam），也译作海角。
13. 原文为“Iridium”，有误。
14. 与水有关的化合物，指含有氧原子的矿物（如氧化物、硅酸盐等），可以与太阳风中的氢离子发生化学反应生成水，也可能指矿物中的结晶水。
15. 1立方英里水冰的质量约为37.5亿吨。

16. 阿利斯塔克，可能指月球上的阿利斯塔克溪（Rimae Aristarchus）。

17. 休斯敦，指位于美国休斯敦的地面指挥中心。

18. 即光速，约30万千米/秒。

19. 曲速层级（warp factor），指曲速航行（使用一种假想超光速推进系统的航行）的速率。一般认为曲速1级为真空光速，级数越高，速度越快。

20. 美国东部时间2015年7月14日，美国国家航空航天局“新视野号”（New Horizons）探测器在历经9年多的飞行后，成功飞掠冥王星，完成了人类对冥王星的第一次近距离观察。2016年11月，探测器将获取的冥王星数据全部传回地球。

21. 应变（strain），物理学名词，指在外力和非均匀温度场等因素作用下物体局部的相对变形。

22. 原文为“Ascraes”，有误。

23. 原文为“Pavonas”，有误。

24. 雅丹地貌，又称风蚀岭。

25. 昂贵（expensive）和庞大（extensive）的英文发音相近。

26. 科学家接受奥卡姆剃刀原理并不意味着不再探索对事物的其他解释。相反，他们会不断寻找更好、更精确的解释（也就是需要更少的未证实假设）。当找到一个可以更精确的理论时，即使新理论更复杂，它也会取代前一个理论。

27. 大峡谷位于美国亚利桑那州西北部，是世界上最长的峡谷之一。

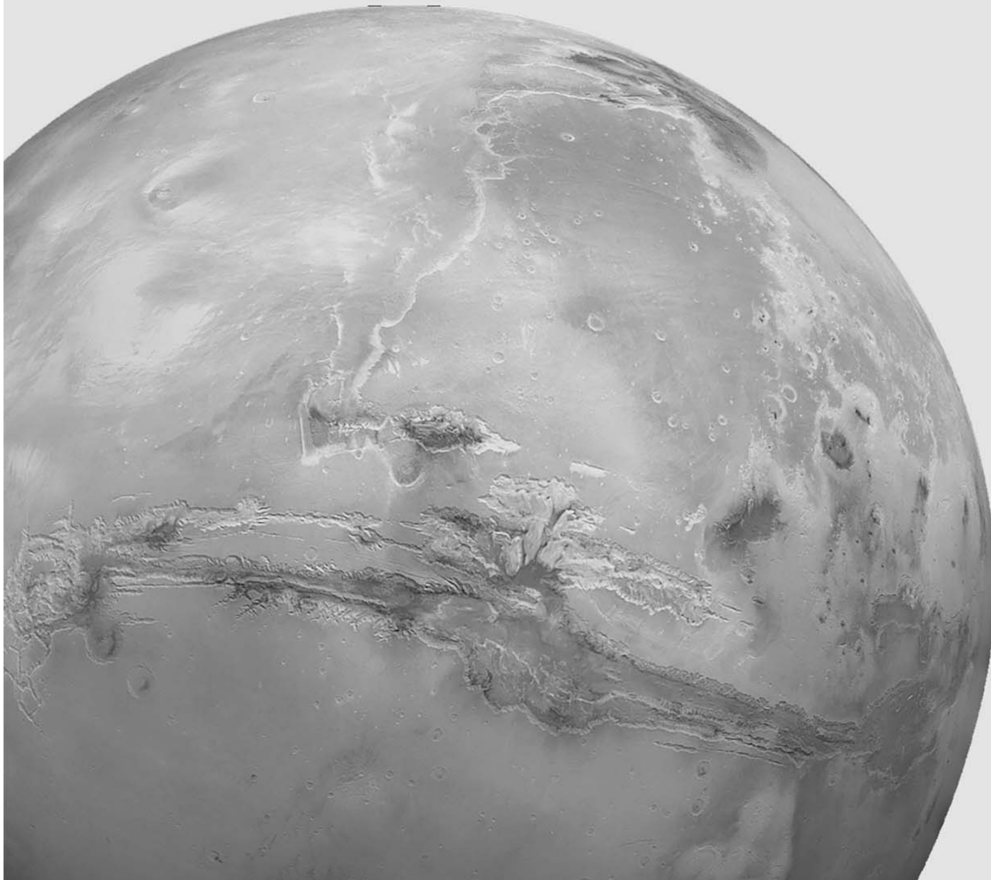
28. 准确地说，珠穆朗玛峰是地球上海拔最高的山（即从海平面算起）。

29. 瑞利勋爵（Lord Rayleigh，1842—1919），本名约翰·威廉·斯特拉特（John William Strutt），英国物理学家，因发现氩气获得1904年诺贝尔物理学奖。他是瑞利散射现象、瑞利波（一种地震波）的发现者，月球和火星上都有以他的名字命名的陨坑。2007年，第22740号小行星被命名为瑞利小行星。



第四部分

家！佳？家？



第10章
移民火星还是返回地球



移民火星

殖民火星的人将组成一个新社会，他们很可能认为自己不同于地球上的人类。正如我们将在本章中读到的，在火星上建立殖民地将是人类历史上最困难、最昂贵、最危险也最具变革性的移民经历。火星人类社会的方方面面都需要改进或创新，包括农业、水的收集和净化、采矿、制造、建筑、交通、通信、医药、繁殖、社会活动、文化、宗教、教育、经济、应急响应、娱乐、治安、酒精生产、辐射防护等等。显然，我在这里无法深入讨论这些问题——今后几年，探讨这些主题的书籍将会大量涌现。因此，我在这里介绍的是火星上这些生存要素的主要特征。

许多人渴望殖民火星，已有成千上万的人报名移民。他们中的许多人是因为想去那儿，而也有许多人是想逃离地球的生活。听听这些文化、宗教、经济基础各异的人移民火星的不同动机，探讨他们移民的原因，这会很有意思。

人类在火星殖民地长期生存的第一层次需求包括安全的液态水、适于呼吸的空气、食物和避免太空辐射。然而，这颗红色星球目前还不具备这些条件，而且在可预见的将来也不会实现其中任何一样。

水

我们已经知道，火星表面的水以冰的形式存在，而且大部分水位于两极。由于低温低压，火星表面的液态水要么瞬间结冰，要么瞬间蒸发。你可以回想第4章描述的低压舱里的那杯水。然而，有确凿证据表明，在接近火星表面的很多地方都存在液态水。我们或许可以通过打井来获取火星表面以下的液态水。我们为了让地球的很多地方变得宜居，也是这样做的。(注)

正如第9章指出的那样，我到目前为止一直假设火星的水要么是无生命的，要么对人类无害。然而，如果那里的水有危险的生命存在，那一切就都变了。首先，我们有没有可能保护人类和其他地球生命不受火星生命危害？如果有可能，那我们必须在移民开始之前就完成。如果没有可能，那么摧毁另一个世界的生命，哪怕是简单生命，这将涉及哪些道德问题？

把殖民地建在火星的什么地方呢？跟地球一样，火星表面的温度随纬度而变化。赤道附近的温度大约是–130℃~21℃，中午的平均温度为–7℃。火星自转轴与其公转轨道面的倾斜角度与地球差不多。这意味着火星也像地球一样有季节变化，但火星上每个季节的长度是地球的两倍，因为一个火星年接近一个地球年的两倍（前者687天，后者365天）。

因此，火星殖民地最好建在最温暖的赤道附近。人类居住地所处的海拔越低，空气就越多。比起高海拔地区，低海拔地区的空气可以保护居民少受一点太空辐射。这样看来，火星的首个居住地很可能会建在水手谷，它的谷底距离火星表面大约6.5千米。

适于呼吸的空气

回想一下，火星的大气压约为地球的0.006[注]倍。此外，这个稀薄得多的大气层主要由二氧化碳组成，还含有少量的氮和惰性元素氩，但没有氧气。这使火星目前的大气不能直接为人体化学反应所用。

因此，所有人类居住地都将会是密封环境，这样适于呼吸的空气就不会跑出去浪费掉。然而，要把大量移民所需的适于呼吸的空气足量带到火星上，这将会是一场物流噩梦。早期定居者呼吸的空气必须在这颗红色星球上制造。为此，我们要把稀薄的二氧化碳和氮压缩、分离，然后以液体形式将它们存放在储罐里。接下来，二氧化碳分子分解成适于呼吸的氧分子（即氧气）和纯碳。所有这些都是利用太阳的能量完成的。氧分子将以液体形式存放在储罐里，碳则堆放存储（稍后我会谈到碳的用途）。最后，氧分子和氮分子以合适的比例结合，产生出适于呼吸的大气层。除了没有一些可有可无的痕量元素，这个大气层与地球大气层是一样的。

你或许知道，二氧化碳是呼吸的副产品。我们的血液从空气中吸收氧气，然后将氧气输送到体内各个细胞。这些细胞利用氧气产生自身赖以存活的能量。之后，血液将细胞产生的二氧化碳输送到肺部。在那里，二氧化碳被排出血液，并通过我们的每次呼气被排出体外。对我们来说，二氧化碳本身是无毒的，不像一氧化碳。尽管如此，大部分被呼出然后进入火星居住地空气的二氧化碳必须被去除[注]，因为空气中高浓度的二氧化碳会阻止血液中二氧化碳的排出。除非去掉二氧化碳，否则新鲜氧气就吸不进来，会使人窒息而死。这同样适用于地球上任何封闭

的居住地，例如潜水艇。

抵御辐射

如前文所述，我们必须保护火星居住地的居民和来访者免受太空辐射。让我们回想第2章的有关内容。火星大气层很稀薄，其保护作用比我们的大气层小得多。地球大气层中的臭氧和二氧化碳可以吸收大量中波红斑效应紫外线和短波紫外线，从而保护我们免受这些致命的辐射。同样，地球那厚厚的大气层还能吸收来自太空的X射线和伽马射线。火星大气层几乎不含臭氧，又很稀薄，所以各种辐射大部分都能到达火星表面。

除致命的电磁辐射之外，由于火星大气层太稀薄，宇宙射线穿越大气层时不会发生能量传递，这与地球大气层的情况不同（见第7章）。宇宙射线会引起严重的疾病，因为它们进入人体时会击碎有机分子。

因此，火星表面会遭受电磁辐射和宇宙射线的双重辐射，这要求我们为火星永久殖民地提供更多保护。如果在火星表面修建房屋，那我们可以用绝缘水或人造屏蔽材料作为墙壁内衬。虽然这在技术上是可行的，但比起修建地下居住地，这么做的成本极其昂贵。地下居住地上面有表土和岩石，它们会吸收来自太空的电磁辐射和宇宙射线，保护人类和其他来自地球的生命。通过计算，表土和岩石至少要4~5米厚才能达到地球大气层的防护效果。这样看来，早期火星移民会成为无比荣耀的穴居人或崖居人。

农业

除了水和空气，解决火星殖民者的吃饭问题显然是头等大事。随着移民越来越多，把所需食物全部运送过去可能会非常昂贵。幸运的是，弄清楚怎样在火星的室内环境培育植物，我们就可以产出很多维持生命所需的基本要素。蓬勃发展的农业可以提供氧气、食物、油、木材、药

物、塑料、橡胶、纸制品等。

但跟动物一样，植物在火星上存活的可能性微乎其微。它们会被太空辐射破坏，被夜间的低温冻死，由于没有液态水而干死（如果把液态水喷到植物上，水会瞬间结冰）。因此，在火星上，植物必须放在密闭的温室中培育，保证植物从天空或人工来源处获取生长所需的适量光照，同时阻挡有害辐射。我们会灌溉植物，就像在地球上那样。植物光合作用所需的二氧化碳直接来自火星大气层，还有人类和其他动物呼出的空气。含有植物所需矿物质的土壤则需要采自火星，然后与栽培植物的表土混合起来。

好消息是，植物除了可以用来生产食物，还会释放出适于呼吸的氧气，在地球上也是这样。我们可以培育足够多的植物，让它们担负起生产氧气的任务。与上面谈到的制氧方法相比，这可以节省大量的金钱和能源。既能生产食物，又能提供氧气，这是一举两得的好事。

植物可以提供新鲜的水果和蔬菜，还能释放出适于呼吸的氧气，这是火星人类的巨大福音。此外，拥有一个“绿色”环境可能给殖民者带来深远、积极的心理影响。想要让火星上生长的植物提供一部分或大部分殖民者所需的食物，温室的面积必须达到几千甚至几万亩，规模堪比地球上的农场。

还有一个引人思考的问题：有没有可能饲养动物作为食物和宠物呢？如果不能，火星移民就只能吃素。这个问题与在火星上养育后代有共性——哺乳动物的身体能不能在火星的低重力环境下生长和运转？

次要需求

早期火星移民面临的首要问题是适于呼吸的空气、饮用水和辐射防护，但他们同时需要在所有居住地建设跟地球城市里一样的基础设施，包括发电和配电、给排水、污水处理、通信和运输系统、气候控制（温度、湿度、空气净化）、急救服务（救护车、消防车、警车）等等。

由于火星没有已知的生物质资源，比如石油或天然气，火星社会运行所需的很多次要条件只能通过有限的几个途径获取。在地球上，运输系统和长途汽车可以依靠石油衍生物，如汽油、柴油和航空煤油。但在火星上，几乎所有运输都将由电力驱动（内燃机需要消耗氧气，而氧气在火星上是一种高价值商品）。同理，在地球上，我们可以使用天然气、丙烷或木材作为锅炉的燃料，但火星的所有锅炉和其他加热元件都需要用电。用电的地方还有很多。

在建设一个新社会的过程中，电动机械不是问题。然而，由于缺乏诸如石油和木材衍生的有机燃料，电力供应将很快成为一个大问题。火星上最方便的两种能源是太阳能和核能。我认为，太阳能将在很多年里都是能源的主要来源。请记住，笼罩火星的高能辐射可能会破坏为地球设计的太阳能电池板，所以我们需要开发更坚固的型号。

此外，火星没有自然形成的石油和天然气储藏，各个公司和国家将无法轻松制造出诸如塑料、天然橡胶、合成橡胶、润滑油、沥青、织物、化妆品以及几乎所有你能想到的设备和机器的部件。好消息是，许多材料可以利用从空气中去除的碳、植物副产品、火星上可开采的矿物（希望有）作为原料生产出来。

需要注意的是，我们对火星内部知之甚少。我们不知道火星是否存在植物生长所需的各种矿物质。我们也不知道有多少元素的矿藏距离火星表面足够近，以便我们在不远的将来能够进行开采，比如铁、镍、铜、铝、硫等元素。如果没有这些“自然资源”，我们在不远的将来无法在火星上建设居住地，也无法从事车辆、工具、桥梁、机器等重工业产品的制造。有些工业制造必需的原料可以在火星上找到，但可直接获取的资源量或许不够，我们最终可以从小行星上获得，然后运到火星上，但这个工程距离实现还很遥远。

早期殖民者的需求

如前文所述，最早期火星殖民者的所有生理需求几乎都要靠地球运来的物资满足，这是一个史诗规模的物流挑战。理想的情况是，我们在地球上制造早期居住地的各个部件，然后在火星上组装。这意味着所有部件都必须安全运达火星。着陆必须足够轻缓，以免干扰居住地组件内置的各种电子、管道和屏蔽元件。这将极具挑战性。事实上，居住地所有基础构件都不大可能在首次运输时完好无损地抵达目的地。

火星地球化

幸运的是，我们还没发现火星的殖民化进程中有任何根本性的障碍。我们梦想把火星地球化，也就是创造一个适于呼吸的大气层和丰富的表面液态水。然而，这不过是一个梦。火星的质量不够大，所以它的引力不足以维持适于呼吸的大气层，也不足以在它的表面保留液态水。

水分子或氧气一旦进入空气，就会被日光加热。太阳紫外线使许多分子分裂成单独的原子。这些原子要么与空气中的其他原子或分子结合，要么运动得飞快，飞进外太空一去不回。地球的质量足够大，所以它的引力足以阻止其大气层的大部分气体飘进太空（但也有些气体逃逸出去）。但是，火星的质量和引力不足以吸住氧气和水。这些因素使火星地球化不在科学讨论的范畴之内。

殖民者的社会和心理需求

生存是人类幸福安康的必要非充分条件，我们需要感到自己正在做有益的事情，需要感到快乐。因此，火星殖民地必须要有保护隐私的基础设施、社交机会、有意义的工作、娱乐场所等等。

生存所需的硬件到位之后，我们还需要面对这样一个事实：广泛的政治、宗教和社会信仰会影响定居者彼此之间的关系，且必然导致不同利益群体的形成。在一个人们无法说走就走的生存环境里，这些利益群体将怎样展开互动？这是另一个需要尽早解决的重要问题。

事实上，火星定居者之间的社会关系将在很大程度上决定早期殖民地能否成功。毫无疑问，盗窃、强奸、袭击等我们认定为犯罪的事情会发生。如果殖民地没有处置罪犯的手段和保障无辜人员不被诬告的司法系统，那么殖民地将很难运行下去。这也意味着火星殖民地需要有监狱和其他约束害群之马的手段。

这又引出早期殖民地面临的一个关键问题：如何处理心理健康问题。这些问题必须以具有建设性的方式解决，以免造成人类的死伤。不管怎样仔细筛选，总有一些人会在火星上经历心理健康危机，诱因是人体的生化问题或社交压力引发的问题，比如被同行的人孤立、思乡病等。诊断、药物、控制和治疗将是殖民地成功的关键。

另一个关键因素是，殖民地从事不同工作的人会有不同的价值观。换句话说，殖民地将培育出多个经济体，它们之间相互竞争，并且最终影响它们各自对地球上公司和国家的看法。同理，各个层次的教育也是成功不可或缺的因素。对体力劳动的需求是存在的，但高等教育仍然至关重要。有了高等教育，我们才能开发出殖民地发展所需的技术，并且培养出足够多的医生、律师、工程师、科学家和社会工作者，以及复杂社会维持运转所必需的其他专业人士。

与地球一样，随着人口的增长，火星定居者会形成不同的政治、社会和宗教信仰。火星不同地区的人们将如何组建国家？这些不同群体之间如何互动？怎样与地球上的各个国家、公司、宗教和种族互动？

你应该移民火星吗？

现有的医学知识表明，哪些人应该而哪些人不应该移民火星，存在着严格的制约因素，除非对微重力和火星的研究证实有反例。首先，26岁以下的人不应该移民火星。虽然大多数人到18岁左右就停止长高，但人的大脑至少要到25岁才停止发育。如果正在发育中的大脑暴露在太空辐射里，新形成的脑细胞被破坏的概率很可能比地球上高。我们还不清

楚这种破坏的后果，也无法保证这种破坏不会将年轻人置于险境，所以我们应该选择不让他们到太空去。

虽然缺乏实验证据，但将儿童放在微重力环境里带到火星上可能会导致骨骼和内脏器官严重发育不足等后果。换句话说，与在地球长大的同龄人相比，这样的儿童在成年后可能会出现畸形。得出这个推论是基于第6章和第7章关于适应失重环境的讨论。对儿童来说，不够多样化的太空饮食也将对身体和大脑的发育产生深远影响。

太空医学研究人员已经发现，很多医学状况使得一些人没有资格作为游客进入外太空。据此我们可以推断，这些人不应该进行6个月或更长的火星之旅。如此漫长的旅行可能会加剧他们的问题，导致患病率和早期死亡率高到无法接受的程度。

孕妇也不应该去火星。从地球飞过去的过程中，微重力会对孕妇的循环系统造成严重影响，进而影响胎儿的营养供给，具体后果尚不清楚。孕妇受限的另一个原因是，胎儿在旅途中会受到极大剂量的辐射，这极有可能对胎儿的宫内发育产生有害影响。

除非有相反的证据，我们建议女性不要在火星上怀孕，因为女性体内的卵细胞在太空旅行中很可能已被辐射破坏。既然辐射会破坏受精及未受精的卵细胞，那么问题来了：移民火星并想在火星上生儿育女的女性如何安全地受孕呢？请记住，女性出生时，其一生所有未成熟的卵细胞就已经存在了，男性则是不断地产生新的精子。暴露在太空辐射中，卵细胞和精子都可能受损。

尽管如此，我们还是能够把可用的卵细胞带到火星。一个办法是在地球上把女性的卵细胞取出并冷冻保存，就像我们现在经常做的那样。我们把这些受精（形成胚胎）或未受精的冷冻卵细胞放进一个防辐射罩中，再用航天器送到太空。尽管这样做不可能100%阻挡辐射，我们现在或者很快就能应用这项技术，为冷冻的卵细胞或胚胎提供足够的保护，其效果可以达到地球大气层目前给受精卵和胚胎提供的保护。到了火星居住地之后，这些卵细胞或胚胎将在有防护的环境里被移入子宫。

孕妇应该一直留在居住地，以避免有害剂量的辐射，直到孩子出生。

在地下居住可以让孕妇避开辐射和宇宙射线，保护胎儿。但是，这些孩子将在与地球不同的重力条件下长大。合乎情理的推测是：这并不致命，但肯定会改变他们的身体发育情况，而最显著的改变会发生在骨骼和肌肉的形成过程中。

这些孩子要克服的重力小得多，不需要花太多力气来支撑身体，所以他们的骨骼不需要长得像我们这样坚硬，肌肉也不必那么结实，包括心脏肌肉。由于火星孩子的身体发育与在地球长大的同龄人不同，前者的身体可能无法在地球上正常运转。他们的骨骼不够坚硬，在地球上既不能承受自身的重量，也不能运动。而且，他们的心跳不够有力，无法在地球重力下有效驱动血液循环。在火星的低重力环境下成长可能会造成广泛的生理差异。最重要的是，在火星上长大的孩子很可能是一个新物种，那我们会把他们看作外星人吗？

制约移民的社会因素

来自不同的社会和社会阶层，有着不同的教育水平、宗教信仰、性别和性取向，各色人等可能都想移民火星，但出于几个社会原因，人们应该仔细考虑是否要做出这样的决定。首先，火星移民基本没可能再回到地球。自古以来，人们就会从家乡迁移到其他地方，但他们总能以这样或那样的方式回家。即便他们可能由于政治、社会、情感或经济的原因无法回归，但至少在生理条件上是可能的。从火星返回地球的经济成本会相当可观，而除此之外，正如我们在第6章和第7章讨论过的，人们在低重力条件下经受的生理变化，会使久居火星后的回归变得非常危险。他们的身体极有可能会变得虚弱，搞不好很快就会受到致命伤害。

思乡病

虽然太空旅行的魅力可能会吸引大多数人到火星去旅行，但正如我

们前面讨论过的，你很可能在旅途中患上严重的思乡病。理智地探讨这个事实是一回事，亲身感受思乡病的折磨并且见证其磨去太空旅行那光鲜的外表，这就完全是另外一回事了。你可以回到第8章，再看看思乡病的那些症状。

大多数人会克服这些症状，但这些症状可能会留下永久的情感伤疤，深刻地影响你今后的感受。有些药物可以帮助你克服严重思乡病的一些症状，但尽管如此，你的太空经历可能在许多年里都会因为思乡病而变得黯淡无光。

地球上需要你的人

火星移民会受思乡病的折磨，而永不再见也会给留在地球上的一部分人造成毁灭性的打击。如果一位年轻的父亲或母亲有机会移民火星并接受了这样的机会，那会发生什么？他将不得不抛弃子女。当然，历史上一直都有父母移民时不得不把子女留在原地的悲剧，但人们总是引导大多数被抛弃的孩子相信最终会再见到父母，要么在那片新土地上团圆，要么在原地等父母归来。

因此，如果父母已经移民，那么期待重逢便会成为孩子生活的一部分。已经长大的孩子可能有机会最终与父母在火星上团聚，前提是他们也要抛弃已有的生活和朋友。在地球上，从历史上看，与父母团圆的移民子女往往撇下的是穷苦的生活和贫乏的社会资源，但对长大后前往火星的移民子女来说，情况不大可能如此。他们要放弃朋友、爱人、亲人、工作、娱乐，还有其他很多东西，只为在一个遥远荒芜的世界上开始未知的生活，而且此生几乎再无可能回到我们这颗绿茵覆盖的美丽星球。

返回地球的太空旅行者

我变得更虚弱了，骨头变得更软了。我不再是一个地球人，而是一个被彻底改变、好像一辈子都在那里度过的太空人。我的内心深处始终有这样的担忧：重新适应地球可能比我曾经适应太空的过程还要艰难。

——《太空漂流记》（Off the Planet），杰里·利宁杰

心理和社会的重新适应

二十几岁的时候，我曾独自一人在欧洲生活了三年。一开始，我谁都不认识，也不了解所在地区（威尔士）的风俗习惯。我那时是一名研究生，正在研究的课题属于当时可以说最具挑战性的科学领域之一，那就是爱因斯坦的广义相对论。几个月下来，我的生活全都围绕着我正在进行的计算。只有做完了正事，我才能放松下来，做各种新奇有趣的事情，比如参观一座在产的煤矿，驾车穿越欧洲，站在瑞士瑞吉山（Mount Rigi）的山顶瞭望白雪皑皑的阿尔卑斯山，去萨尔茨堡欣赏世界级的音乐，在西西里岛的一座山里待上一个星期，去剑桥向斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）和他的团队报告我的研究成果，等等。

然后，我回国了。

我的家人和朋友来了。他们的行为跟我记忆中三年前的样子差不多，但我已不再是三年前离开美国的那个人。我的所见和经历已经改变了我，而言语只能勉强形容这些变化。我的世界观变了。比如我站在阿尔卑斯山顶的时候，我发现自己开始在大尺度上描画地球的面貌，而这些我过去从来没有想过。山脉是怎样形成的？它们之间以及它们与世界是怎样联系起来的？它们给一个充斥着人为混乱的世界带来一种美感和秩序。然而，与你将来从哪怕很短暂的太空旅行归来后的感受相比，我的这些改变不值一提。

当太空旅行进入尾声时，你已经离开地球达数小时、数周、数月甚至数年了。你看过和做过的事情很少有人看过或者做过。小时候，你可

能梦想着像超人那样飞行，而现在你的梦想在太空得以实现。你拍摄了数千张照片。你可能触摸过另一个世界，感受了它的纹理，闻到了它的气味，领略了它的景色。如果是这样，你毫无疑问会把这个世界与地球进行比较，然后意识到这两个世界不一样。

那时，你会对我们的星球有新的看法，而这将永远改变你。

每次你触碰从另一个世界带回来的纪念品时，你就会被它带回那个世界，这种感觉很难向朋友和家人言说。太空旅行改变的远不止你对太阳系各个天体的看法而已。如果一切顺利，你会在太空里结交新的朋友，对同行者、游客和机组人员——至少他们中的一部分人——产生强烈的归属感。你与我们这个时代最复杂的工程和科学设备紧密协作，而你的家乡人只能在网上或者科幻电影里才能瞥见这样的高科技。这会使你对自己的能力产生一种自豪感和优越感。如果你的太空旅行足够久的话，你还可能有时间去完成你一直想学但没时间学的大学课程。此外，还有太空行走和飘浮在太空中那种无拘无束的美妙感觉。幸亏有人会把你拽回来，因为你可能真的不想回到航天器里面。

也许最重要的是，你会看到地球作为一个整体的景象，那可比我当年从瑞吉山上看到的完整多了。为了欣赏这个足以改变每个观察者的景象，你可能会花上几个小时。当你透过飞船的舷窗从深空观察一个完整的世界，尤其是地球时，这种感觉是多么妙不可言。按照所有报告的说法，这种感觉，你只有身临其境才会明白。不单单是壮观的景象……你还知道下面就是家，你的家，你家人的家，所有我们已知生命的发源地。你透过舷窗看到那个蓝色、棕色和白色相间的星球，上面布满了已知宇宙中最复杂、最美丽、最独特、最有意义的东西。生命就从这里起源。

从太空看去，地球是一个整体。如果从这个角度出发，你可能会不明白，生活在地球上的人们怎么会对这颗星球、对生命、对一切有着如此狭隘的看法。你可能会不明白，为什么我们不能想办法和平共处，不搞破坏，也不互相伤害。毕竟，我们都是人类，属于同一个物种，生活

在同一个世界上。太空经历会让你领悟，地球是多么脆弱和独特。在宇宙的这个角落里，我们的地球独一无二。

当然，你的旅行并不完全称心如意。你为适应太空生活进行了生理调整；头几天你的脸肿了起来，还总是想小便。你不愿意回想得了流感一样的感觉，还有太空病引起的呕吐。这一切都过去了，就连一路困扰着你的睡眠障碍也过去了。你还出现过定向障碍，经历过让人不适的感知和心理适应，比如学习怎样与一个倒立的人说话。

假如你参加的是一次长途太空旅行，那么很可能在几个较长的时间段里（至少在旅行者看起来很长），飞船上一半的人不与另一半人交谈，或者有人乱发牢骚。你或许已经在心理医生的帮助下战胜了一次幽闭恐惧症发作。途中，有位乘员摔断了脚踝，一路上都忍着疼痛，飞船上所有的人都感同身受，但同时也庆幸受伤的不是自己。你从家人那得知了不幸的消息，感到抑郁，而同行的心理医生只能提供微乎其微的帮助。现在，想象一下，再过几个小时，你就要着陆了，很多你爱的人正在等着你。

心理的重新适应

回家常常是令人激动的。人们欢聚一堂，分享故事，交换礼物，规划未来，重新开始生活。然而，在幸福团圆的表象之下，潜伏着一个重新调整和接受考验的阶段。当你重新适应地球，想要重拾之前撇下的人际关系时，你会有怎样的遭遇呢？尽管我们已经研究了有类似经历（在南极越冬、完成潜艇巡航、自愿参加集体禁闭实验、常驻空间站）的归来人员，但我们对此的认知仍然比较有限。

首先，你的太空冒险之旅会把你跟没去过的人区分开来。你将成为名人，尽管不会像前几代宇航员那样声名远播。即便如此，知道你曾到过“那里”的人会索要你的亲笔签名，拿着自拍杆跟你合影。而你会在很长一段时间里把所有人都视为“别人”，包括你的家人和朋友。

你不在地球的这段时间里，你和你的家人、朋友都会有变化。在长期远离原生家庭和朋友、与另一群人发展密切关系的过程中，你已经形成了一套新的人际行为。想要回到从前的“自我”，就算有可能也往往非常困难。你不再是离开时的那个人，而与你关系亲近的人也不再一样。人一直在不断成长和变化，而亲近的人通常是这些变化的一部分，所以在生活里，人们一直在不断地适应彼此。问题是，当你在很久之后从很远的地方回来时，你和你“丢下”的那些人已经发生了不同的变化——即便你们每天都打网络电话。你们已经不再是彼此变化的一部分，所以你们也不再像从前那样“了解”对方。

你回到地球后的首要目标是重新适应。太空旅行会放大重新适应期，也会放大你的缺席对人际关系的考验。就算只是几个星期的太空旅行，你的太空经历也会以他人无法真正理解的方式深深地影响和改变你。太空旅行者报告说，太空旅行改变了他们怎样看待自己的生命以及生命作为一个概念的意义，也改变了他们的宗教和政治信仰。

正如前宇航员杰里·利宁杰博士在他的著作《太空漂流记》第247页中所写：

> 我曾当过20年的美国海军军官，明白武装部队存在的必要性，但我也从太空看到过一个未被割裂的地球。从这个角度看，我们人类自己之间的战争毫无意义。现在，每当我目睹任何形式的冲突，我都会尝试后退一步，从更广阔的视角来看待问题，然后就豁然开朗了。

阿尔瓦·西蒙（Alvah Simon）是一名海员，他曾被困在北冰洋的帆船上，度过了整个寒冬。他这样描述自己读到约瑟夫酋长[注]那篇著名的演讲《我将永不再战》时的辛酸：“我合上书，痛哭到以为自己会像他一样心碎而死[注]。无边黑暗，形单影只，此生从未感到我与人类如此密不可分。”实际上，在太空经历的一些事情会改变一个人，有时会让人

变得很难与曾经亲近的人和意见相左的人相处。

重新适应或者摆脱原有的人际关系，只是你返航之后适应过程的一部分。在太空旅行中，你的大部分时间都用来从一个地方移动到另一个地方。这是再普通不过的行为，但中间还穿插着激动、欣喜、敬畏、恐惧的时刻。回到地球以后，你可能会经历这样一个阶段：当你环顾地球上有趣却相对平凡的东西时，你会有一种太空生活与地球生活之间的割裂感。之前是外太空荒芜冷漠的美丽，现在是地球复杂多样、壮观惊人的生物群落，这会加剧两者的二元对立。两种不同的环境，两种不同的生活，你都经历过，而现在却不得不加以调和。

你会惊诧于地球上物品的丰富程度。这里的物品安全可靠、品种丰富、井井有条，可以修理也可以丢弃。相比之下，在太空那几个月或几年里，所有的东西你都只能凑合着用，修补着用，反反复复地用。这个差距会加剧地球生活与太空生活的反差。再有，你将重返普通地球人的队列，重新开始支付账单、上班、做饭、给汽车加油，为各种生活琐事奔波。像那些在南极洲和潜艇上生活过的人一样，这些反差可能会带来一种被他人孤立的感觉，往往需要一年甚至更长的时间来克服。特别是从南极洲回来的人，患严重抑郁症的比例偏高，酗酒和自杀的概率也高于普通人。约翰·朗[注]在《疯狂山脉：一名科学家的南极洲冒险之旅》（*Mountains of Madness: A Scientist’s Odyssey in Antarctica*）中写道：

> 回到澳大利亚差不多三个月了，其间，我的情绪大起大落，有点儿像过山车，时而因为悲剧电影或是让人伤心的感情故事而突然哭起来，时而为一些愚蠢的小事疯狂大笑。或许，我正在释放一路积累下来的压抑情绪。我的情绪最终稳定下来，恢复了正常，但说句实话，我再也没能恢复到走之前的状态。

你想去太空？做好被永远改变的准备吧。

生理的重新适应

从你再次踏上地球的那一刻起，你的身体就开始重新适应地球。由于经历了第6章和第7章中谈到的各种生理变化，所以你的骨骼、循环系统、肌肉、平衡感、体态和睡眠周期都已经适应了太空生活，这使你回到地球的重力环境之后会感到不适。利宁杰博士在“和平号”空间站度过4个月之后与家人团聚。他在书中讲到他的兄弟见到他后的反应：“回来后，他第一次看到我的时候，被我的样子吓了一跳。在他眼里，我十分瘦弱，皮肤苍白，走路不稳，看起来像是几个星期没睡过觉，跟人握手软弱无力。”（原作第233页）

回来之后，你对自身和环境的感知（本体感觉）会有差异。因此，你可能会发现，即便是很简单的事情，你做起来都会不一样或者做不好，比如伸手去架子上拿东西。你的免疫系统也需要时间恢复，这意味着你与离开之前相比更容易生病。

回来1个月之后，你的身体将会分阶段进行调整。有些需要几天，比如适应身体姿势的变化（坐起和站起时不会头晕眼花或者晕过去）、开车等与本体感觉相关的活动。有些需要几个星期，比如平衡感[注]、走路、同时移动双眼。还有些需要几年的时间，比如恢复肌肉和骨骼质量、睡眠。地球引力会使你的脊柱重新受压，所以你可能还会出现背痛。利宁杰博士生动地描述了从“和平号”空间站回来之后让他狼狈不堪的一次淋浴：“花洒喷出的水流像炮弹一样轮番轰炸我的身体，我觉得都快要被砸倒在地了。当时我的思维还停留在太空里，所以心里想的是，这样的力会把我推走的……有那么一会儿，我咬紧牙关，强忍着流水炮弹的击打，可最后还是放弃了。回来之后洗个畅快淋漓的澡，这原本是我朝思暮想的，结果却这样收场：我坐在地上，水从花洒里一点点滴下来。”（原作第234页）这之后，他开始锻炼身体，恢复骨骼和肌肉质量。他感到自己很容易受伤，有一种无力感。经过一段艰苦的恢复过程之后，他强调说：“看起来重新建立肌肉的神经传导通路是最困难的……直到回地球差不多一年后，我才感到自然流畅的传导。”（原作

第237页）我必须说，多年后我见到他时，他看上去很健康。

由于生理和心理原因，你回到地球以后还可能出现睡眠障碍。你必须重新适应在正常的地球重力环境里睡觉。与在太空中相比，在地球上睡觉还伴随着明与暗、闹与静、暖与凉等昼夜节律的强烈变化。利宁杰博士写道："现在，重力猛地把我拽进床垫里面。"（原作第234页）一些从南极洲回来的人报告说，他们经历了两年的睡眠障碍。

从超过几个星期的太空之旅返航后，我们强烈建议你躺在担架上离开登陆器。虽然你可能觉得这样有损于你凯旋的光辉形象，但是这可以帮助你避免出现下面的情况：由于钙流失而变脆的骨骼出现骨折，因为循环系统缺血而昏迷，因为本体感觉和深度感知能力没有恢复而撞到东西，还有因为肌肉支撑力不足而摔倒。事实上，利宁杰博士坦言，他在公众场合露面之前会严厉地告诫自己："不管做什么，杰里……千万不要昏过去。"太空旅行者返航时，红地毯会从登陆器那里开始铺起来，家人会等在两旁，而你却只能举起手臂，冲他们挥挥手而已。

已经过去了几个月或几年，你的家人看起来会不一样。但与此同时，你在朋友和家人的眼中必定也有变化。假设你的航天器没有1g的人造重力，那么几乎可以肯定的是，你的体重会大幅下降。你比离开地球的时候要虚弱得多，因为你在太空中损失了肌肉。以地球的标准来衡量，你的体态会非常难看，因为你的身体在太空里差不多一直处于松垂的状态。

从一段漫长的太空旅行归来之后，你可能会被安排在一个私密的房间里，跟家人和朋友相互问候和交换礼物。如果你去的是火星或地月系统以外的其他地方，那回来之后，你可能没法从床上爬起来（之前也是工作人员把你抬上床的），也可能没法抱起孩子。当然，会有人提前把这些告诉前来迎接你的亲朋好友，好让他们有个心理准备。即便如此，重新适应地球生活的过程，或许不乏快乐，但于你而言必将是一场苦战。

1. 如果最终证明这种想法过于乐观，也就是火星的液态水远不能满足我们的需求或者根本不存在，那么我们还有两种方法可以获取水。一是采掘冰，并且把殖民地建在冰源所在的两极附近，而不是靠近更温暖、更宜居的赤道。另一个方法是捕捉彗星，然后把它们发送到火星上，或者在太空里采集彗星的水。
2. 原文为“0.007”，有误，按照第7章和第9章的说法，应为0.006。
3. 剩余的二氧化碳可以再利用，比如用于在居住地培育观赏植物。
4. 约瑟夫酋长（Chief Joseph，1840—1904），也称山雷酋长，北美原住民内兹珀斯部落（Nez Perce）领袖，曾接替其父老约瑟夫酋长带领部落群体抵抗美国政府的驱逐，后带领部落群体向加拿大撤退。1877年，因不堪忍受族人饥寒交迫、死伤惨重，约瑟夫酋长最终放弃抵抗，并发表了美国历史上最伟大的演讲之一《我将永不再战》（I Will Fight No More, Forever）。
5. 据约瑟夫酋长的医生说，他死于“心碎”。
6. 约翰·朗（John Long，1957—)，澳大利亚古生物学者、科普读物作家。
7. 有些宇航员报告说，他们返回地球几年后，平衡感仍然不好。

附录

科学记数法

天文学是一门涉及极端情况的科学。在研究不同宇宙环境的时候，我们发现，各种条件的跨度大到令人惊异——从恒星内部极度高温的密集内核到近乎真空的星际空间。要准确描述这些截然不同的条件，我们需要用到大大小小的数字。为了避免使用“一亿亿亿”（1 000 000 000 000 000 000 000 000）这样令人困惑的表述，天文学者使用一种标准的记数方法：将这些烦琐的0用10的指数来表示，写成上标，称作10的n次方。指数仅代表展开形式下你需要写多少个0，比如：

$10^0＝1$

$10^1＝10$

$10^2＝100$

$10^3＝1\ 000$

$10^4＝10\ 000$

同理，10右上角的指数告诉你需要乘以多少个10才能得到想要的数字。例如，10 000可以写作10^4（10的4次方），因为$10^4＝10×10×10×10＝10\ 000$。

科学记数法会将一个数字写成1至10之间的某个数字与10的n次方相

乘的形式。例如，273 000 000可以写作2.73×10^8。地球与太阳之间的距离可以写作1.5×10^8千米。一旦习惯之后，你会发现这种方法比写成“150 000 000千米”或者“一亿五千万千米”更加方便。

这种方法也可以用于小于1的数字，你需要在指数前面加一个减号。负指数代表小数点的位置，例如：

$10^0=1.0$

$10^{-1}=0.1$

$10^{-2}=0.01$

$10^{-3}=0.001$

$10^{-4}=0.000\ 1$

再比如，一个氢原子的直径大约是1.1×10^{-8}厘米，这比写成“0.000 000 011厘米”或“十亿分之十一厘米”更简便。同理，0.000 728可以写作7.28×10^{-4}。

因此，这种方法可以让我们很简洁地写出大数和小数：

$3\ 416\ 000=3.416\times10^6$

$0.000\ 000\ 807=8.07\times10^{-7}$

科学记数法可以让我们避免使用一大串0，例如：

一千$=10^3$

一百万＝10^6

十亿＝10^9

一万亿＝10^{12}

千分之一＝10^{-3}＝0.001

百万分之一＝10^{-6}＝0.000 001

十亿分之一＝10^{-9}＝0.000 000 001

万亿分之一＝10^{-12}＝0.000 000 000 001